

# **Toepassing van de Booghal als overkapping van autowegen ter bestrijding van de fijnstof en NO<sub>2</sub> problematiek**

Een technisch / economisch haalbaarheidsonderzoek

## **Rapport:**

64002919, Uitvoering/IPL, 'Lichte overkapping'

## **Opdrachtgever:**

Rijkswaterstaat  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044  
2600 GA DELFT

## **Uitgevoerd door:**

Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Bouwkunde  
Prof. dr. ir. Jos J.N. Lichtenberg  
Vertigo 7.13  
Postbus 513  
5600 MB EINDHOVEN

i.s.m.

Booghal BV  
Dhr. ing. G.J.M. van der Zanden  
Wingerd 26  
5421 AZ Gemert

Eindhoven  
20 maart 2006

## **Inhoudsopgave:**

Inleiding	pag. 3
De booghal	4
De Opdracht	6
Voorgestelde constructie	8
Eisen m.b.t. veiligheid	11
Additionele eisen	19
Kostenraming	22
Conclusies en aanbevelingen	24
Bijlage: Constructieberekening	25

## 1 Inleiding

Zoals aan de TU/e opgedragen is een studie uitgevoerd naar de haalbaarheid van een lichte overkapping voor wegen. Dit in relatie tot de fijnstof en NO<sub>2</sub> problematiek die momenteel actueel is. Een en ander is vastgelegd in de opdrachtomschrijving d.d. 2 december 2005 met als kenmerk 054803. Het project is bij Rijkswaterstaat bekend onder het verplichtingenummer 6400.2919 en de projectnaam Uitvoering/IPL 'Lichte overkapping'.

Aanleiding voor deze studie is zoals genoemd de fijnstof en NO<sub>2</sub> problematiek, maar ook de interesse van Rijkswaterstaat voor een Boogstal concept zoals dat door DLV op 19 mei 2005 op de 'Dag van de transportbesparing' werd getoond.

De Technische Universiteit Eindhoven heeft bij de ontwikkeling van dit concept een vooraanstaande rol gespeeld, vandaar ook dat de Universiteit is benaderd voor het uitvoeren van deze opdracht.

Inmiddels zijn de belangen van het concept ondergebracht bij een nieuwe onderneming 'Booghal BV', met wie bij de uitvoering van deze studie nauw is samengewerkt.

In dit rapport wordt eerst in hoofdstuk 2 aandacht besteed aan het Booghal concept, zoals dat reeds ontwikkeld was. De opdrachtomschrijving wordt in hoofdstuk 3 behandeld. In de hoofdstukken 4 t/m 7 komen de hoofdvragen in de opdrachtomschrijving aan de orde. Achtereenvolgens de uitwerking van de constructie voor de wegoverkapping (4), de veiligheidsaspecten (5), enkele additionele aspecten (6) en de kostenaspecten (7). In hoofdstuk 8 worden tenslotte conclusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan.

## 2 De Booghal

In 2004 is een ontwikkeling gestart voor de agrarische sector die uiteindelijk heeft geleid tot een zogenoemde Boogstal.

Via DLV te Uden kwam de vraag om voor de stallenbouw een nieuw concept te ontwikkelen. De bestaande stalen systemen worden nl. als ernstig landschapverstorende elementen beschouwd en voorts bestaat in de agrarische sector een groot economisch probleem.

Boeren worden namelijk momenteel geconfronteerd met nogal wat onzekerheden. De belangrijkste daarbij is de te verwachten concurrentie uit Oost Europa cq. de nieuwe EG landen. Die onzekerheid leidt tot een gereserveerd investeringsgedrag en om die reden een nieuwe vraag naar economisch verantwoorde gebouwproducten. Meer specifiek gaat het daarbij om lagere exploitatiekosten bij een kortere afschrijvingstermijn.

In het kort is dat de uitdaging die destijds door de TU/e in samenwerking met de opdrachtgever en KLDI te Kelpen is opgepakt. Op de TU/e heeft dit geleid tot een afstudeerproject waarbinnen een nieuw stallenbouw concept is ontwikkeld. Dit concept bestaat uit een zogenoemde onderbouw en bovenbouw. Met de onderbouw wordt bedoeld op alles op of onder de grond zoals ligboxen en mestkelders. Met de bovenbouw wordt op het bouwkundige deel, de stal als gebouw, bedoeld.

De economische oplossing is gevonden door te streven naar een lagere aanvangsinvestering in combinatie met lage exploitatielasten (onderhoud) en een restwaarde aan het eind van de gebruiksduur. Die gebruiksduur kan door deze benadering relatief kort zijn (bijvoorbeeld 10 jaar in plaats van de gebruikelijke 20 jaar).

De onderbouw is stalspecifiek en is in het kader van deze studie niet relevant.

De bovenbouw betreft een boogconstructie die ook voor andere markten toepasbaar is.

De constructie wordt daarbij gevormd uit stalen boogspanten die h.o.h. op 5,5 a 6 m. worden geplaatst en waartussen of waarover een speciale folie wordt gespannen als regen- en winddichting. Als extra laag kan op enige afstand van en over de folie een gaasdoek worden gespannen. Dit o.a. ter bescherming tegen vogels en als windbreker.

De boogspanten bestaan daarbij ter besparing van gewicht en materiaal uit een ruimtevakwerk dat is opgebouwd uit segmenten met een lengte van ca. 5 m. Hiervan bestaan twee varianten (aansluithoek en lengte zijn enigszins verschillend). De twee varianten kunnen in verschillende configuraties worden samengesteld. Aldus ontstaan spanten met verschillende hoogtes en overspanningen die in onderdelen worden aangevoerd en in situ kunnen worden samengesteld.

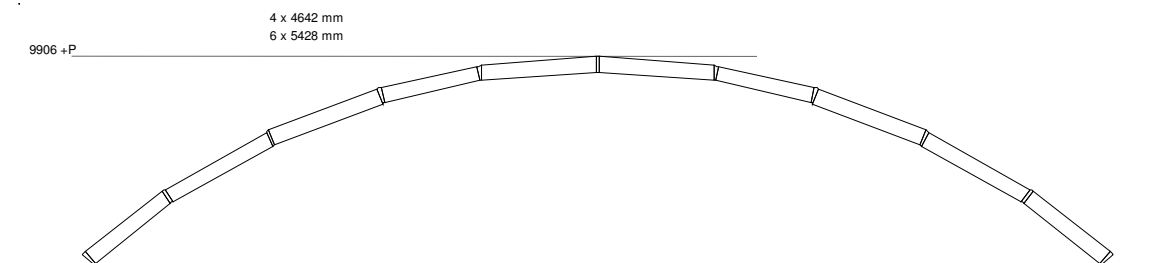
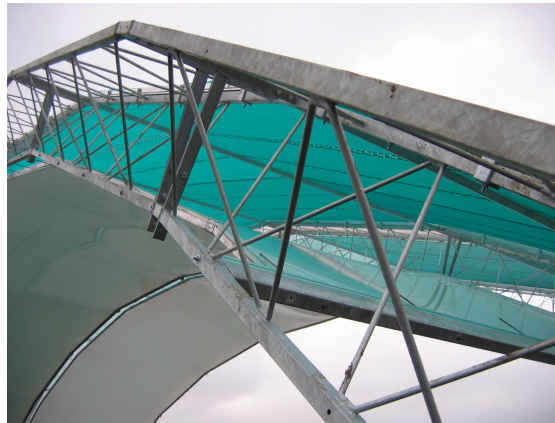
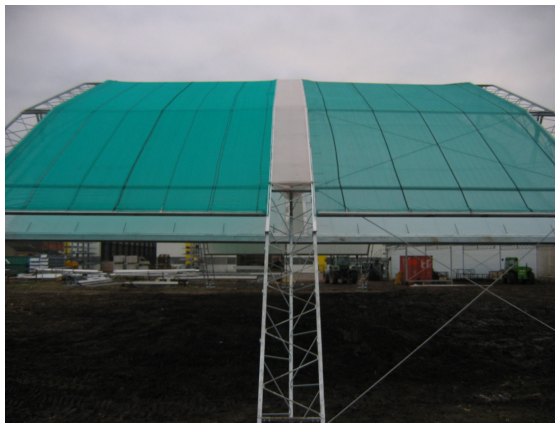


Fig.: Boogspant, waarin het eerste, vierde, zevende en tiende element gelijk zijn (lengte= 4642 mm) en de overige ook (lengte 5428 mm). De code C 50-10 slaat op de overspanning (50 m) en het feit dat de boog uit 10 onderdelen bestaat. Deze hal is bijna 10 m hoog.

De status quo van dit project is, dat de technische ontwikkeling is afgerond, dat er inmiddels een proefopstelling is gerealiseerd en dat voor de stallenbouw nu contracten worden afgesloten. Binnenkort zal ook de eerste stal worden gebouwd.

Daarnaast is er uit andere sectoren belangstelling omdat het concept in een breder verband een concurrerende oplossing kan bieden. Behalve de vraag van Rijkswaterstaat gaat het daarbij vooralsnog om toepassingen voor het overkappen van evenementen en het overkappen van buitenopslag van grondstoffen en recyclebare reststoffen.



Beelden van een proefopstelling die in het kader van de stallenbouw is uitgevoerd. De overspanning bedraagt hier 40 m (voor de wegovertopping zal deze 50 m bedragen). De onderste foto's laten details zien m.b.t. de wijze waarop de folie in het profiel zijn geklemd. Links het onderprofiel, rechts is het windbreekgaas aangebracht en wordt dit geborgd, gespannen en geklemd met een bovenprofiel.

### 3 De opdracht

De opdracht van Rijkswaterstaat omvat een onderzoek naar de haalbaarheid van het omschreven hallenconcept voor een toepassing als wegoverkapping ter vermindering van fijnstof en NO<sub>2</sub> verspreiding in de omgeving. Daarbij concentreert de opdracht zich op het bouwkundige deel.

Uitgangspunt bij de opdracht is een gesloten overkapping met een lengte van 1000 m en een luchtbehandelingseenheid aan het eind van de overkapping. Niet tot deze opdracht behoort een installatietechnische uitwerking hiervan.

Theoretisch zou het ook denkbaar kunnen zijn dat bij een natuurlijke ventilatie de fijnstof en NO<sub>2</sub> concentratie in de omgeving wordt gereduceerd. Dat veronderstelt dan dat een belangrijk deel van de concentratie onder de overkapping al neerslaat of door dit d.m.v. interne luchtcirculatie via ventilatoren met filtertechnieken te bevorderen. Deze optie wordt hier als idee genoteerd, maar is verder niet uitgewerkt.

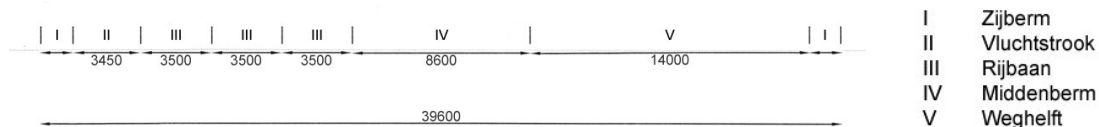
De opdracht omhelst:

- Het uitwerken van de constructie van een overkapping van een weg met twee keer drie rijstroken;
- Het aantonen hoe kan worden voldaan aan de eisen die worden gesteld aan veiligheid;
- Het beschrijven van de oplossingen die worden geboden op het gebied van additionele aspecten;
- Het globaal ramen van de kosten van 1000 m overkapping van een weg met twee keer drie rijstroken (zowel aanleg als onderhoud);

Deze opdracht wordt hierna conform de aangeboden opdrachtoomschrijving nader gespecificeerd.

Ad a: *M.b.t. het uitwerken van de constructie van een overkapping van een weg met twee keer drie rijstroken*

Hiervoor is door opdrachtgever een wegprofiel aangeboden. Om een beeld van de totale breedte te verkrijgen zijn hieronder de breedtematen uitgewerkt.



Additioneel is aandacht gevraagd voor de realisatie van op- en afritten. Deze doorbreken als het ware de 'wand' van de constructie (een of meerdere boogspanten doorbreken) en ook dat verdient specifieke aandacht.

Ad b: *M.b.t. het aantonen hoe kan worden voldaan aan de eisen die worden gesteld aan veiligheid.*

Hiervoor is door rijkswaterstaat een aparte aanvullende instructie verstrekt. Deze is ontleend aan de eisen die bij tunnels worden gesteld.

De eisen betreffen:

- constructieve veiligheid
  - De minimum eisen betreffende constructieve veiligheid staan beschreven in het Bouwbesluit.
  - Voorts moet aangesloten worden op de algemeen toegepaste normen (NEN en EN) voor bouwconstructies.
- verkeersveiligheid

- De eisen voor verkeersveiligheid staan beschreven in de ROA, uitgegeven door het CROW.
  - Tevens gelden de normen voor bermbeveiligingen, zoals bijvoorbeeld NEN-EN 1713.
3. interne veiligheid (met intern wordt bedoeld: onder de overkapping)
- De eisen voor interne veiligheid staan beschreven in de veiligheidsrichtlijnen: Veiligheidsrichtlijnen deel C - versie 1.0 - januari 2004, alsmede de daarna gepubliceerde aanvullingen en wijzigingen.
  - Het verlichten van tunnels en onderdoorgangen - 2003
  - Ventilatie van verkeerstunnels, 1991

*Ad c: M.b.t. het beschrijven van de oplossingen die worden geboden op het gebied van additionele aspecten.*

Dit betreft eisen m.b.t. de luchtkwaliteit, de inpasbaarheid en de kosten

1 luchtkwaliteit

- voor weggebruiker
- ventilatiemogelijkheden op momenten dat de luchtkwaliteit geen probleem vormt

2 inpasbaarheid

- landschappelijk
- op- en afritten
- (flauwe) bochten
- welstand
- hinder voor omgeving (mens en dier)

3 kosten

- aanschaf/opbouw
- onderhoud
- levensduur
- mogelijkheden tot hergebruik of verplaatsing van de overkapping

De overkapping is bedoeld om de luchtkwaliteit langs de weg te verbeteren. Uiteraard wordt het op prijs gesteld wanneer door of met de overkapping extra mogelijkheden worden geboden, maar dit moet in redelijke verhouding staan tot de kosten.

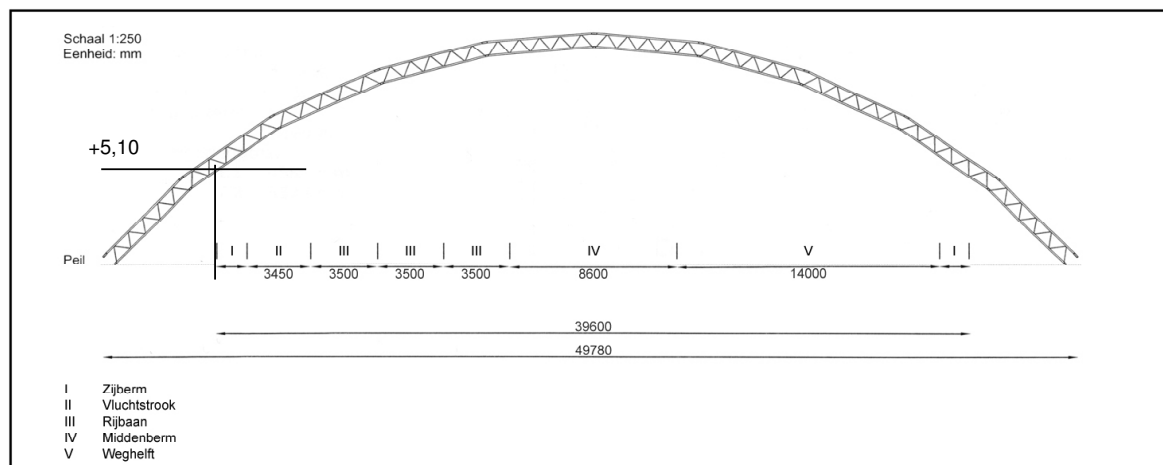
Er hoeft geen aandacht besteed te worden aan de zuivering van de lucht.

*Ad d: M.b.t. het globaal ramen van de kosten van 1000 m overkapping van een weg met twee keer drie rijstroken.*

Geen nadere toelichting.

## 4 Voorgestelde constructie

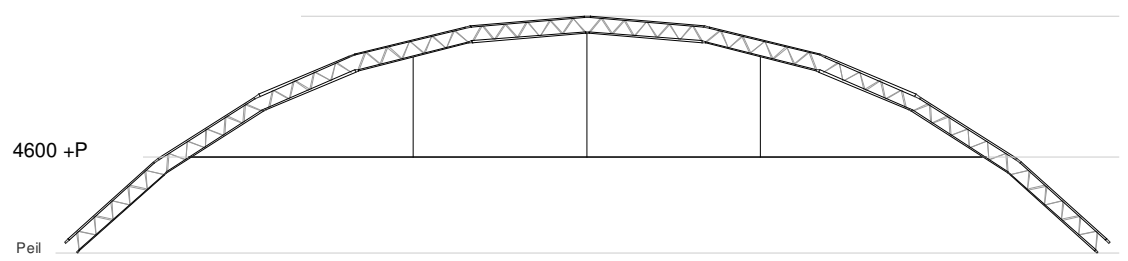
De basisconstructie is ontworpen op basis van het aangereikte wegprofiel. Profiel en voorgestelde constructie zijn incl. hoofdafmetingen weergegeven in onderstaande doorsnede.



De doorsnede laat een spant zien. De spanten worden h.o.h. om de 5,75 m geplaatst. De folie (uitgegaan is van een zogenaamde Anti Dust film 250  $\mu\text{m}$ ) wordt daartussen cq. overheen gespannen.

Deze constructie is berekend teneinde in staat te zijn een betrouwbare kostenraming op te kunnen stellen (zie hoofdstuk 7). De berekening zelf is separaat uitgewerkt.

Als alternatief voor deze constructie is ook de mogelijkheid onderzocht om een spankabel op ca. 4,6 m hoogte (of iets hoger, bijv. 5,10 m) aan te brengen (zie onderstaande figuur).



Het resultaat van de berekeningen is dat de trekkabel zonder kostenverhogende verstijvingen in het spant niet of nauwelijks effect heeft op de grootte van de spatkrachten. In bovenstaande illustratie is voorts te zien dat er bij deze oplossing nogal wat extra hulpmiddelen ingezet moeten worden om de redelijk forse staalkabel ( $\text{Ø}20\text{mm}$ ) niet door te laten hangen. Ook zouden er aan de constructie enkele lastige verbindingen (en dus extra afwijkende knopen) moeten worden ontwikkeld.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de spatkrachten in de fundering van de boog opgevangen moeten worden.

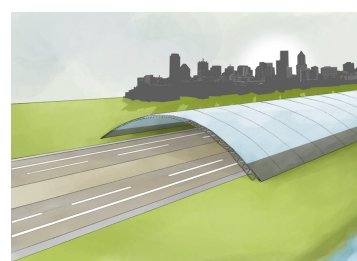
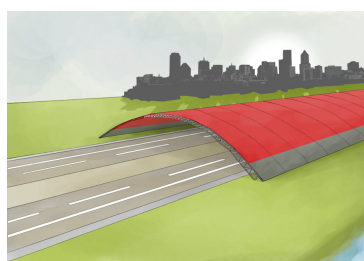
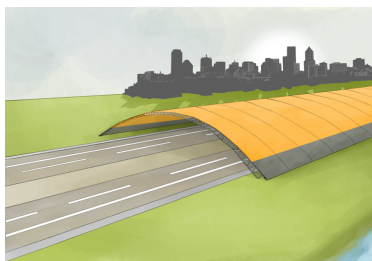
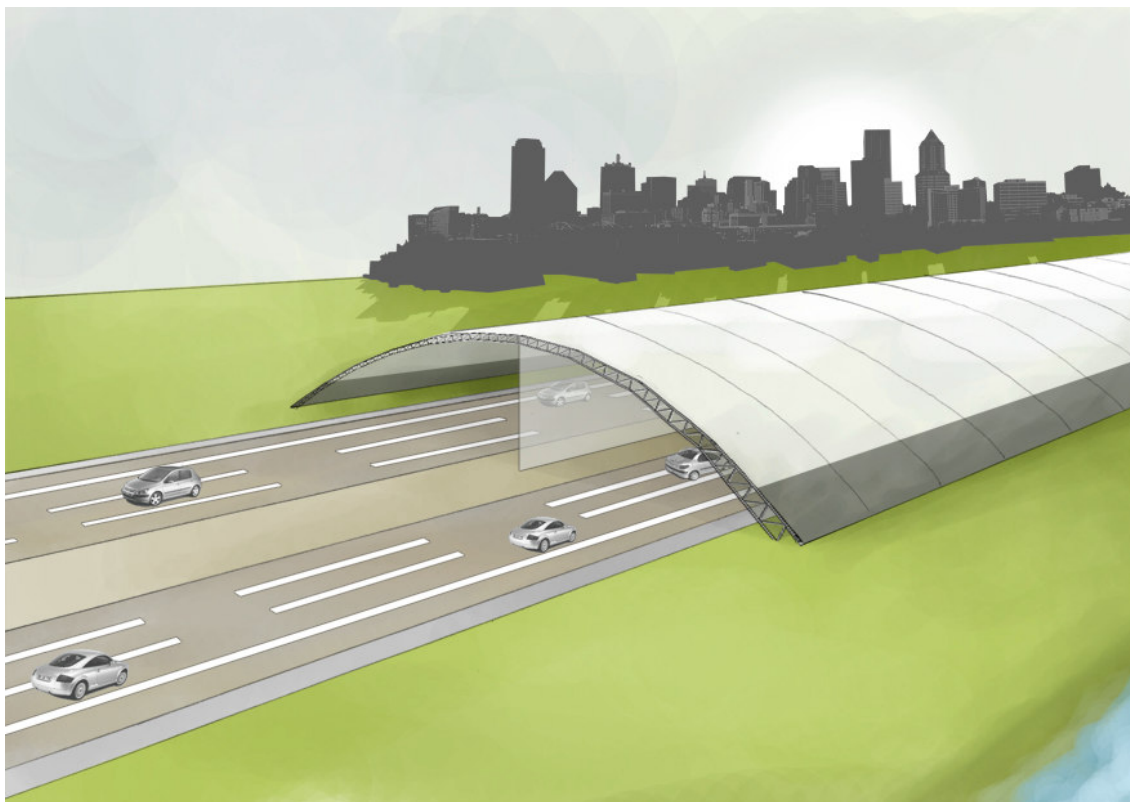
Op zich blijft het mogelijk om een slanke overspannend element, bijv. een stang, aan te brengen, echter in dat geval dient deze niet te worden uitgevoerd als een trekstang en bovendien i.v.m. op te hangen matrixborden e.d. wat hoger te worden gemonteerd. Voorts



kan deze stang meerdere keren worden opgehangen en in de middenberm een of twee keer worden ondersteund. De ondersteuning voor de scheiding van de twee weghelften kan dan eventueel een dubbelfunctie vervullen. In het algemeen kan een dergelijke voorziening veel lichter dan normaal worden geconstrueerd i.v.m. het wegvallen van de windbelasting (excl verkeer).

Andere uitgangspunten en opties voor de hal zijn:

- De lichtdoorlatendheid van het gaas (buitenzijde) bedraagt 50%;
- De folie heeft een lichtdoorlaat tot 91%;
- De onderste 5400 zal ter bescherming van de hal worden voorzien van een rigide materiaal (vrije keuze, bijvoorbeeld sandwichpanelen);
- Door het afsluiten van de onderste zone wordt tevens een geluidsisolatie bereikt (panelen werken als geluidsscherm).
- Veel kleurcombinaties kunnen worden toegepast op het buitenste gaas ;

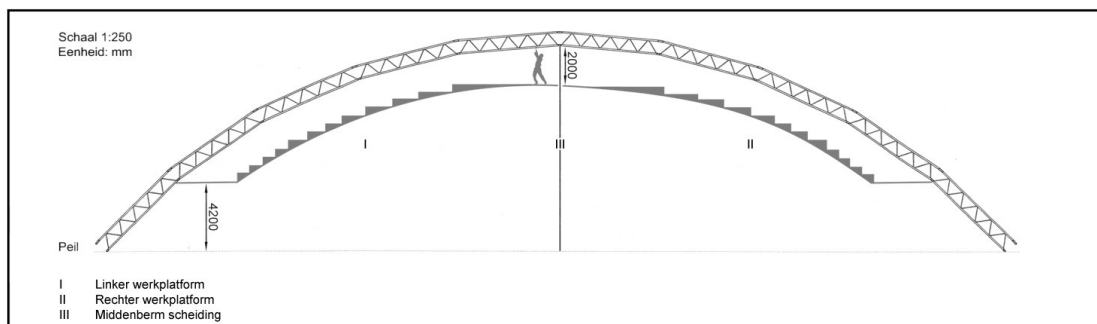


Impressie van de overkapping in verschillende kleuren. Aan de onderzijde van de boog is de overkapping voorzien van meer rigide materialen (bijvoorbeeld sandwich panelen), in de tekening donkergrijs weergegeven. Boven is een 2 x 3 baans weg weergegeven. In de onderste tekeningen een 2 x 2 baans weg. Het gaat om de kleurvariaties.

In het kader van de uitvoering is tevens nagedacht over een optie om de overkapping te kunnen realiseren zonder het verkeer te belemmeren. Door de ontwikkeling van een rijdend werkplatform (zie onderstaande schetsmatige doorsnede) is het niet nodig om van de rijbaan gebruik te maken (hooguit zou in het geval de zijberm niet berijdbaar is, de vluchtstrook als werkruimte ingezet moeten worden).

De bogen worden vanaf de wegzijde gemonteerd en compleet m.b.v. een kraan geplaatst, direct op de reeds aangebrachte prefab fundering.

De folie en de afdekking worden vanaf het platform (met een diepte van ca. 14 m) over de gehele snelweg aangebracht. Met hetzelfde platform zou later ook zonder belemmering van de verkeersdoorstroming het onderhoud kunnen worden uitgevoerd of kunnen vervangingen worden gerealiseerd. Of dit haalbaar is hangt mede af van de hoeveelheid obstakels onder de spanten (scheiding weghelften, ophangconstructies, aanwezigheid horizontale ligger/stang t.b.v. wegsignalering e.d.).



Schematische doorsnede rijdend platform. In verband met een scheiding van de twee weghelften kan dit platform in tweeën worden gedeeld (linker en rechter weghelft separaat). Deze schets dient als een eerste gedachte te worden geïnterpreteerd. Een verdere uitwerking is noodzakelijk, bijvoorbeeld t.a.v. het verplaatsen van het platform.

De stabiliteit van de overkapping in de andere richting wordt verzorgd door de spankracht van de folie in combinatie met meerdere koppelprofielen tussen de spanten. Op regelmatige afstand wordt een stabiliteitskruis aangebracht. Op de foto links onder op pagina 5 is een voorbeeld te zien hoe dit is te realiseren.

Dit betekent dat indien een of meerdere spanten zouden worden aangereden de onderzijde van het spant zal vervormen en dat in dat geval de krachtafdracht hoger in het spant nog steeds via folie en koppelstukken in tact blijft. In een ernstig geval knikken de koppelstaven en zal de rek van de folie de impact verend opvangen. Op deze wijze zouden een paar opeenvolgende spanten voetloos worden, maar door de wijze van inklemmen van de folie zal het bovenste deel wel blijven hangen. In dat opzicht zal de tussenondersteuning op de middenberm ook nog een rol spelen.

Een dynamische simulatie heeft in het kader van deze oriëntatie echter niet plaatsgevonden.

## 5 Eisen m.b.t. veiligheid

De eisen m.b.t. veiligheid zijn te verdelen in constructieve veiligheid, verkeersveiligheid en interne veiligheid (onder de overkapping).

### 5.1 Constructieve veiligheid

De minimum eisen betreffende constructieve veiligheid staan beschreven in het Bouwbesluit. Voorts moet aangesloten worden op de algemeen toegepaste normen (NEN en EN) voor bouwconstructies.

Conform de normering is een tweetal berekeningen uitgevoerd, te weten op basis van een spant met een overspanning van 50 m en een bruto hoogte van ruim 12 m met en zonder de toepassing van spankabels. De gekozen afmetingen zijn het gevolg van een noodzakelijke vrije hoogte van 4,2 m ter plaatse van de vluchtstrook. De berekening zonder spankabels is uitgangspunt geweest voor de begroting (hoofdstuk 7).

### 5.2 Verkeersveiligheid

De eisen voor verkeersveiligheid staan beschreven in de ROA, uitgegeven door het CROW. Tevens gelden de normen voor bermbeveiligingen, zoals bijvoorbeeld NEN-EN 1713. Deze publicaties geven geen concrete input voor de realisatie van de overkappingconstructie en leiden evenmin tot aanpassing van de gekozen uitgangspunten.

### 5.3 Interne veiligheid

De eisen met betrekking tot de interne veiligheid zijn te ontleen aan de volgende publicaties:

- Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (2002) *Het verlichten van (korte) tunnels en onderdoorgangen*, Ede, ISBN 90-76549-03-6
- KIVI en Rijkswaterstaat (1991) *Ventilatie van autotunnels*, rapport, juli 1991
- Rijkswaterstaat (2004) *Veiligheidsrichtlijnen deel C - versie 1.0*, januari 2004 (alsmede de daarna gepubliceerde aanvullingen en wijzigingen).

Deze publicaties zijn doorgelicht en worden hieronder voor wat betreft de relevante aspecten besproken;

#### **Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (2002) *Het verlichten van (korte) tunnels en onderdoorgangen*, Ede, ISBN 90-76549-03-6**

Gedurende de nacht veronderstelt de publicatie dat vrijwel altijd kunstverlichting noodzakelijk zal zijn. In dit geval gaat het om een onderdoorgang, waarbij de huid uit een transparante of semi transparante folie bestaat. De binnenomstandigheden zullen dus de buitenomstandigheden benaderen met dit verschil dat licht van binnenuit zal reflecteren. Zeker als de gekozen folie licht van kleur is zal het licht, bijvoorbeeld komende van auto's, zich goed verspreiden. Om die reden zou de vraag gesteld kunnen worden of kunstlicht dan wel nog noodzakelijk is. Wij zijn van mening dat dit toch wel het geval is. De verlichting van auto's zal worden ervaren als een zich voortbewegend lichtfront dat zich aftekent op de binnenzijde van de folie. Slagschaduw van objecten tussen de bron en het projectieoppervlak aan de andere zijde van de weg, zoals wegsignaleringen, vangrail, e.d. kunnen echter voor bewegende projecties zorgen die bij bestuurders ongewenste reflexen zouden kunnen veroorzaken. Om die reden is een dusdanige algemene verlichting gewenst (bijvoorbeeld centraal in de nok of een lager geplaatste aanlichting van het plafond) dat bedoelde projecties worden overruled.

In de publicatie wordt beargumenteerd dat de dagsituatie in het algemeen kritischer is. Met name is er aandacht voor het zogenaamde 'zwarte gat'. Daarmee wordt bedoeld op het beeld dat ontstaat op het moment dat een automobilist een tunnel nadert en hij niet gesteund door achterlichten van voorgangers of algemene verlichting een beeld kan vormen van wat er in de tunnel is te zien. Een dergelijke situatie leidt tot plotseling en sterk afremmende auto's.

Bij de booghal speelt dit effect niet, aangezien het lichtniveau door binnentredend daglicht aanzienlijk is. Niettemin kan er, als dat toch noodzakelijk zou blijken te zijn alsnog verlichting worden ontstoken, aangezien die voor de nachtsituatie toch al aanwezig wordt verondersteld. De publicatie geeft daarvoor geen harde criteria. Bepalend is het contrast waarmee eventuele obstakels door aankomend verkeer kunnen worden waargenomen. Indien het doorzichtpercentage (het deel van het zichtvlak waar men de andere kant van de onderdoorgang kan zien) kleiner dan 20% is dient er altijd te worden verlicht. Echter daarbij wordt verondersteld, dat de omhulling niet lichtdoorlatend is. Verwacht wordt dat de lichtopbrengst via de folie bij normaal weer al hoger ligt dan wat er normaal van kunstlicht wordt geëist.

In de publicatie wordt veel aandacht geschonken aan de bepaling van het doorzichtpercentage. Dit doet zich voor in situaties waarin bij het naderen van een onderdoorgang of tunnel de uitgang reeds kan worden gezien. Voor de booghal is dit echter niet relevant, aangezien we ervan uit gaan dat het relatief lange trajecten zijn waarover deze wordt toegepast. Mocht zich toch een situatie voordoen waarbij de overkapping zich over een relatief kort traject uitstrekt, dan leidt dit alleen maar tot een gunstigere situatie.

Voor de booghal is verlichting op diverse niveaus mogelijk. Ideeën zijn om de spanten te gebruiken als drager voor armaturen, waarbij halogeenverlichting hoog in het midden nu een goede optie lijkt, die overeenkomt met de gebruikelijke wegverlichting. De masten worden daarbij bespaard. Verwacht wordt dat de folie een lichtverspreidende werking heeft en dat ook gekozen zou kunnen worden voor zogenaamde uplights, buitenarmaturen die de folie van buiten aanlichten of zogenaamde prisma armaturen (binnen), die het licht aan weerszijde evenwijdig aan de folie uitwerpen. In deze gevallen zal er een diffuus lichtveld worden gegenereerd.

Het gewicht van deze armaturen kan per oplossing verschillen. In het boogspant is enige reserve voor het gewicht van armaturen. De omvang van de reserve is afhankelijk van de exacte positionering van de armaturen. Deze dient in samenhang met de installatie te worden uitgewerkt.

### **KIVI en Rijkswaterstaat (1991) *Ventilatie van autotunnels*, rapport, juli 1991**

Het betreft hier een publicatie die aanbevelingen bevat voor het ontwerpen en berekenen van ventilatiesystemen. In principe behoort de installatietechniek niet tot de opdracht, maar de publicatie geeft ook inzicht in de benadering en uitgangspunten van ventilatiesystemen bij tunnels.

De publicatie maakt duidelijk dat de belangrijkste ontwerpuitgangspunten voor het ventilatiesysteem zijn gebaseerd op het voorkomen van ontoelaatbare luchtverontreiniging in (overwegend CO) en in de omgeving van de tunnel (overwegend NO<sub>2</sub> en in dit geval fijnstof) alsmede het functioneren van de installatie in het geval van brand (afvoer van hete en giftige verbrandingsgassen).

De luchtkwaliteit is afhankelijk van de situatie en daartoe worden vier ontwerpscenario's gedefinieerd:

- Stagnerend verkeer (filevorming);
- Hulpverlening (assistentie bij gestrande automobilisten, waardoor bijvoorbeeld tijdelijk de ventilatie cq. het lichtniveau toeneemt);

- Vluchtende automobilist (verlaten auto bij een totale stremming, veelal via een parallelle vluchtgang);
- Brand (temperatuur loopt in een tunnel veel hoger op, ventilatie is nodig voor zuurstoftoevoer (voorkomen van smoren en verspreiding van onverbrande gassen))

Ventilatiesystemen worden ten opzichte van de richting op de langsas van de tunnel onderscheiden in zogenaamde langs, dwars en semi-dwars ventilatie. Bij semi-dwars ventilatie is de afvoerlucht op het langs ventilatieprincipe gebaseerd en de aanvoerlucht op het dwars ventilatie principe dan wel andersom.

Bij tunnels is er een voorkeur voor langs ventilatie, hoewel deze eigenlijk alleen maar geschikt is voor relatief korte tunnels vanwege de in de ventilatierichting toenemende vervuilingconcentratie (als regel wordt in de richting van het verkeer geventileerd). De ervaringen bij dwars- en semi-dwars ventilatie is dat deze gemakkelijk wordt verstoord door natuurlijke trek in de langsrichting (verkeer, winddruk op de tunnelopeningen).

Bij langs ventilatie wordt vaak gebruik gemaakt van aanjagers en lucht injectoren. Daarbij wordt als knelpunt gesignaleerd dat er in tunnels vaak te weinig fysieke ruimte is om deze in het tunnelprofiel op een goede manier te plaatsen.

In geval van brand moet een dergelijke installatie afhankelijk van de omvang en de plaats in de tunnel volgens een vaak totaal ander scenario kunnen werken (bijvoorbeeld tegenstroom).

De oplossingen die in de publicatie worden aangereikt zijn sterk gekoppeld aan tunnels. Bij tunnels wordt ervan uitgegaan dat de ventilatie alleen met speciale voorzieningen kan worden verzorgd, omdat de buitenlucht niet aan de tunnel grenst. Dat is bij de booghal compleet anders. Daarbij komt dat de hal veel hoger is en dat twee tegengestelde verkeersstromen zich in een tunnelbuis bevinden. In die zin is de publicatie behulpzaam om de fenomenen in kaart te brengen, maar is er voor de oplossing een heel andere benadering mogelijk.

Het uitgangspunt van de booghal (niet specifiek ontwikkeld voor wegoverkapping) is dat deze op natuurlijke wijze kan worden geventileerd. De folie zelf is natuurlijk niet luchtdoorlatend, maar onderlangs aan de zijanten alsmede boven beide spanten zijn openingen gecreëerd. Deze wijze van ventileren is alleen aantrekkelijk bij een mogelijkheid om deze mechanisch af te dichten of indien blijkt dat onder de overkapping de lucht zodanig kan worden gemanipuleerd dat deze bij het verlaten van de overkapping toelaatbare concentraties fijnstof en NO<sub>2</sub> bevat.

Op basis van de bekende technologie is er een voorkeur om uit te gaan van een geforceerd ventilatiesysteem, waarbij een oplossing met langs ventilatie en aanjagers in de rijrichting van het verkeer voor de hand ligt.

In het eerste geval (natuurlijke ventilatie) wordt ervan uitgegaan dat de binnenruimte door natuurlijke ventilatie voldoende kan worden geventileerd teneinde overschrijding van de toelaatbare CO concentratie onder alle omstandigheden (dus ook bij een file) te voorkomen. De hoeveelheid aan openingen maken deze strategie niet bij voorbaat kansloos echter concreet bewijsmateriaal ontbreekt zodat dit in het kader van een installatieontwerp een nader te onderzoeken aspect zal zijn.

Natuurlijk betekent dit ook dat er studie moet worden gemaakt van de wijze waarop de verspreiding van het fijnstof en NO<sub>2</sub> zal plaatsvinden. Een deel zal intern neerslaan, maar de vraag is of dit voldoende is om de concentratie buiten voldoende te reduceren. Het onttrekken van fijnstof zou kunnen worden bevorderd door het plaatsen van luchtreinigers (ventilatoren gecombineerd met luchtwassers, elektrostatische filters of anderszins, die de lucht voortdurend behandelen).

In het tweede geval (geforceerde ventilatie) is het uitgangspunt dat de lucht in ieder geval bij de uitlaat geconcentreerd door een schacht o.d. wordt gedwongen, waarbij op die plaats het

fijnstof en eventueel schadelijke gassen geheel of gedeeltelijk kunnen worden afgevangen. In dit geval ligt het voor de hand de in het booghal concept voorziene ventilatie openingen geheel of gedeeltelijk af te dichten. Dit is bouwtechnisch ter plaatse van de spanten mogelijk door het spant als het ware in te pakken. Aan de langs zijde moet dit worden gerealiseerd door een aansluiting met de bodem te maken. Daarbij zijn afhankelijk van de noodzakelijke luchtdichtheid diverse oplossingen mogelijk. Een mogelijk oplossing is om via een damwand of betonnen rand in een aansluitingsmogelijkheid te voorzien. Hierop wordt de onderste meer rigide strook van het gebouw (bijv. sandwichpanelen) gerealiseerd en daarop wordt vervolgens weer de folie geklemd of gehecht. Deze oplossing is gekozen als uitgangspunt voor de kostprijsbepaling.

In principe zou hiermee een langs ventilatie systeem kunnen worden ondersteund. Gelet op de grote doorsnede en het tweerichtingsverkeer is onduidelijk wat de maximale overkappinglengte zou kunnen zijn.

De twee aangedragen oplossingen kunnen vanzelfsprekend ook leiden tot een mengvorm, waarbij een gedeelte van de beschikbare ventilatieoplossingen wordt afgedicht en waarbij de overkapping als het ware wordt opgedeeld in delen (op strategische plekken onderbreken van de overkapping), die elk op zich op een verantwoorde wijze volgens het langs ventilatie principe kunnen worden behandeld.

Brand vormt een apart onderdeel van deze beschouwing. In het geval van een tunnel verdient brandveiligheid extra aandacht vanwege de hoog oplopende temperaturen en de eventuele onvolledige verbranding van gassen, die door ventilatie elders in de tunnel tot verbranding kunnen komen of zelfs tot explosies kunnen leiden.

In het geval van de booghal zal in geval van brand een geheel ander scenario gelden. Hoe tegenstrijdig het ook moge klinken, is het in dit geval een gunstige eigenschap van de folie dat deze brandbaar is. Boven de plaats waar de brand plaatsvindt zal hierdoor vrij snel een gat zijn ingebrand. De brandsnelheid ligt afhankelijk van de foliekeuze tussen 1 en 2 m/min (gemeten volgens DIN 4102). Door de hitte van de rookgassen zal hierdoor zeer snel een groot gedeelte van de rook kunnen verdwijnen. Het groeien van het gat door brandvoortplanting zal door de brandvertragende eigenschappen van de folie (er is een brandvertragende versie) eindigen zodra de temperatuur onder een bepaalde waarde (vlampunt volgens ASTM E136 is  $> 340$  °C) is gedaald. Dit zal in een bepaalde nader te bepalen doch beperkte cirkel rondom de brand het geval zijn.

In deze fase heeft nog geen praktijkonderzoek plaatsgevonden naar dit fenomeen. In principe is de mate van brandvertraging van de folie hierop ook aan te passen. Dit zal derhalve onderdeel moeten zijn van vervolgonderzoek. Het zgn. druifeffect zal bij deze folie niet optreden. Dit kan bij vervolgonderzoek ook verder worden onderbouwd. Bij dit onderzoek dient ook de ventilatiestrategie te worden betrokken, alsmede de verspreiding van rook onder de booghal (gedeelte dat niet door het gat naar buiten verdwijnt) en de mate waarin dit hinderlijk voor de overige weggebruikers zou kunnen zijn cq. in hoeverre dit effect door ventilatie of anderszins beïnvloed kan worden. Daarbij speelt ook de hoogte van de hal een gunstige (rook stijgt normaal naar boven op) maar nu nog niet te kwantificeren rol.

Het inbranden van een gat in het dak is een gunstige eigenschap, maar er mag ook niet op worden gerekend. Ook in het midden van de overspanning kan een brand ontstaan en in dat geval valt het te betwijfelen of de rookgassen op 11 a 12 meter daarboven nog voldoende heet zijn om de folie te doen ontbranden.

In dat geval dient het ventilatiesysteem in langs richting in combinatie met een scheiding tussen de twee rijrichtingen voor een veilige situatie te zorgen.

Een punt van aandacht is voorts ook de temperatuur die in de rookgassen zal ontstaan. Dit is met name van belang voor de staalconstructie die zich bij een bepaalde belastingsduur lokaal elastischer zou kunnen gaan gedragen en dus zou kunnen gaan vervormen. Indien dit

een reëel risico zou blijken te zijn, zijn oplossingen voorhanden bijvoorbeeld in de vorm van het in bepaalde zones (bijvoorbeeld boven de vluchtstrook, waar de hal ook relatief laag is) toepassen van bij verhitting opschuimende verf (in de handel bekend als 'brandwerende verf'). Een andere optie is om de staalconstructie op deze plaatsen (bijvoorbeeld zones boven de vluchtstrook en lager, zwaarder te dimensioneren of om de mogelijkheid te hebben om te koelen (sprinkler). Deze laatste optie is wellicht economisch gezien moeilijk haalbaar.

Ook ten aanzien van het vluchten gelden heel andere uitgangspunten dan bij tunnels. Aparte vluchtgangen zijn immers niet nodig. Door op regelmatige afstand (1 per 300 meter aan elke zijde van de weg) plaatsing van vluchtdeuren is het ontsnappen uit de booghal effectief te realiseren.

### **Rijkswaterstaat (2004) *Veiligheidsrichtlijnen deel C - versie 1.0*, januari 2004**

Deze richtlijn omvat een groot aantal aspecten, die deels al op andere plaatsen ook aan de orde zijn geweest. Voor zover relevant worden deze hieronder geïventariseerd en behandeld.

Als algemeen punt komt uit de richtlijn een verdeling naar voren van overkappingen onder 250 meter, tussen 250 en 500 m en langer dan 500 m. De opdracht behelst een ononderbroken wegtracé van 1000 m. De opgave is ook met dat uitgangspunt verder uitgewerkt.

Omdat de eisen bij overkappingen boven de 250m resp. 500 m wezenlijk hoger zijn kan het vanuit kostenefficiëntie aantrekkelijk zijn het tracé op te splitsen in delen van 250m of eventueel delen tussen 250 en 500m. De afweging of dit aantrekkelijk kan zijn hangt uiteraard ook samen met de investeringen die nodig zijn om een geforceerde ventilatie en luchtreiniging te realiseren. In het ontwerp is niet van opknippen uitgegaan, echter het wordt hier als een overweging genoemd.

#### *Verkeerskundig:*

De meeste factoren in deze paragraaf hebben betrekking op de locatie en het specifieke ontwerp en zijn niet gebonden aan het systeem. Wel wordt opgemerkt dat tweerichtingsverkeer in één tunnelbuis ongewenst is. De achtergrond van deze richtlijn wordt echter niet toegelicht. Mogelijk ligt dit aan de krappe maten van een normale tunnelbuis, normaal zonder vluchtstroken hetgeen op grond van de royale afmetingen voor de booghal niet relevant is. In het ontwerp is uitgegaan van een scheiding door boven de middenberm een folie te plaatsen (op een lichte ondersteuningsconstructie om optredende drukverschillen op te vangen). Verder inzicht in het ventilatiegedrag zou er toe kunnen leiden dat deze niet nodig is. In dat geval leidt dit dus tot een besparing.

#### *Energie:*

Deze paragraaf gaat over E-voorzieningen voor alle noodzakelijke energie vragende installaties, zoals tunnelverlichting, ventilatie, meet- en detectiesystemen, verkeerssignalering, bewaking, besturing, etc.

#### *Verlichting:*

Verwezen wordt hier naar de hiervoor behandelde publicatie (Verlichting van tunnels en onderdoorgangen). Speciaal wordt gewezen op de noodzaak om bij de bekabeling rekening te houden met brand, door het hoofdtracé zoveel mogelijk buiten de verkeersruimte (in dit geval de overkapping) te houden. Dit zou buiten net onder het hoogste punt van de 'harde' onderzijde (sandwichpanelen) mogelijk zijn.

#### *Afvoersysteem:*

Deze paragraaf is in hoofdzaak niet van toepassing voor het overkappen van een bestaand wegdek. Wel dienen in algemene zin en afhankelijk van de situatie maatregelen te worden

getroffen om het hemelwater dat van de overkapping naar beneden stroomt aan de langszijde zodanig op te vangen dat aldaar niet de grond kan wegspoelen, cq. dat overtollig water lokaal naar binnen zou kunnen stromen. Dat laatste zou bij een bol wegprofiel normaal niet mogelijk moeten zijn. De hoeveelheden water zullen ongeveer een factor twee groter zijn dan hetgeen zonder overkapping van het wegdek naar de zijkanten stroomt aangezien het deel dat naar de middenberm spoelt nu ontbreekt. Dit aspect dient in relatie tot diverse voorkomende situaties nader worden onderzocht.

#### *Bescherming tegen brand:*

Hier wordt erop gewezen dat de afwegingen om tunnelconstructies te beschermen tegen de gevolgen van brand, primair een economische afweging is. In geval van de booghal zal een brand zich concentreren ter plaatse van de brandhaard en is de vervanging van folie dermate laag in kosten, dat de materiele schade geen reden is om speciale maatregelen te treffen. Brand in een breder context is reeds hiervoor behandeld.

#### *Bediening en bewaking:*

De mate van bediening en bewaking overstijgt niet het niveau dat normaal op de weg (zonder overkapping) wordt gerealiseerd. Eventuele extra voorzieningen zijn afhankelijk van te maken keuzes op ontwerp (concept) niveau. Er bestaat nu geen aanleiding om daar van uit te gaan.

#### *Verkeersdetectie en verkeersregeling:*

Dit valt buiten dit kader.

#### *Vluchten:*

Hier worden aanwijzingen gegeven voor het ontwerpen van vluchtwegen. O.a. wordt aangegeven dat vluchtdeuren net als bij geluidsschermen, niet verder uit elkaar dan 400 m zouden moeten liggen. Onderbrekingen in de vangrail dienen ter plaatse te worden gerealiseerd. Speciale aandacht wordt gevraagd voor de positie van gehandicapten. Op vluchtwegen dient het verlichtingsniveau tenminste 100 Lux te bedragen. De vluchtwegen worden uitgevoerd in lichte kleuren.

De booghal voldoet in het algemeen goed aan het in deze paragraaf gestelde. Aanvullend zou de folie in het vak waar zich de vluchtdeur bevindt een afwijkende kleur kunnen krijgen, zodat deze herkenbaar wordt. Tevens kunnen de flankerende spanten worden gebruikt voor bewegwijzering (de bekende pictogrammen). Voor de deuren is een kleur voorgeschreven. Voor de aan te brengen bewegwijzering worden meer gedetailleerde richtlijnen gegeven. Deze richtlijnen raken echter niet het wezen van de booghal en zijn in die zin in het kader van deze studie te gedetailleerd om op in te gaan.

#### *Ventilatie:*

Ventilatie wordt in hoofdzaak in verband gebracht met brand. Pas bij tunnels langer dan 2000 m wordt het verontreinigingscriterium maatgevend.

Onder een lengte van 250 m is geen ventilatie noodzakelijk, boven 500 m verplicht en daartussen facultatief afhankelijk van overwegingen betreffende de situatie en het concept, e.e.a. in overleg met de beleidsbeslisser.

In deze publicatie worden ook gedeeltelijk overkapte wegen behandeld en in combinatie met een dergelijke gedeeltelijke open overdekking wordt inderdaad erkend dat rook hierdoor kan worden afgevoerd. Wel wordt erop gewezen na te gaan of de rook zich niet kan verspreiden in aangrenzende gesloten tunneldelen. De suggestie om tunnels in kortere stukken te knippen wordt ook hier gedaan.

Niettemin is het uitgangspunt een aaneengesloten tracé van 1000 m, hetgeen derhalve een ventilatiesysteem noodzakelijk maakt.

#### *Communicatie:*

In deze paragraaf worden de communicatiesystemen behandeld.



Boven een tracé lengte van 500 m zijn verplicht:

- Een High Frequency (HF) systeem voor nooddiensten en portofoons. Via dit systeem kan ook via RDS op FM kanalen worden ingebroken, zodat automobilisten instructies krijgen.
- Een camerasysteem (CCTV),
- Een intercom systeem,
- Een luidsprekersysteem en
- Voorzieningen voor mobiele telefonie.

Deze is wellicht toch niet noodzakelijk gelet op het open karakter. In een binnenkort te bouwen boogstal zou een veldsterkte onderzoek uitgevoerd kunnen worden.

#### *Detectie van gevaarlijke situaties:*

Voor tunneldelen >500 m zijn de volgende detectiemiddelen noodzakelijk:

- NO<sub>2</sub> bepaling d.m.v. zichtmeting;
- Voertuiggedrag d.m.v. SDS/SOS;
- Rook d.m.v. zichtmeting;
- Brand (op basis van temperatuur) en van explosiegevaarlijke gassen t.b.v. de hulpdienst is optioneel als compenserende maatregel;
- Explosiegevaarlijke gassen t.b.v. de hulpdienst is optioneel;

#### *Brandbestrijding:*

In geventileerde tunnels >500m worden om de maximaal 60 m handblussers geplaatst. Slanghaspels zijn alleen noodzakelijk bij een groot economisch belang (bij de booghal met lage reparatiekosten derhalve niet relevant).

T.b.v. de brandweer zijn brandkranen h.o.h. maximaal 100 m en een externe watervoorziening (eventueel te combineren met hemelwaterafvoer) voorgeschreven. Extra druk en een intern reservoir zijn optioneel. Onder de 250 m zouden deze verplichtingen kunnen vervallen.

Bovenstaande regels gelden voor tunnels in de klassieke betekenis. Hier gaat het om een ruimte die veel royaler is bemeten dan een gangbare tunnel en bovendien bestaat de omhulling uit een vlies, hetgeen zich uiteraard geheel anders gedraagt dan een tunnelwand. Dit zou tot aangepaste uitgangspunten kunnen leiden. Nader onderzoek en overleg hierover lijkt zinvol.

#### *Kabels en leidingen:*

De publicatie adviseert centraal gelegen kabelgoten of ladderbanen te gebruiken die zoveel mogelijk buiten de verkeersruimte worden gesitueerd. Bij de booghal zou dat buiten de hal in de buurt van de voet of aan de bovenkant van de harde onderplint (sandwichpanelen) kunnen met verdelingen via de binnenzijde van de spanten naar voorzieningen zoals armaturen. Deze dienen voor onderhoud bereikbaar te zijn en te worden beschermd voor beschadiging door geweld van buitenaf en tegen brand. (Pijp)leidingen binnen de buis die tijdens brand moeten blijven functioneren dienen van staal te zijn.

#### *Hulpposten:*

Deze worden niet relevant geacht.

#### *Hulpverlening:*

Overleg met hulpdiensten wordt in de publicatie geadviseerd.

#### *Beleving:*

Hier worden enige aanbevelingen gegeven, die door de booghal deels al van nature worden ingevuld. Enkele relevante opmerkingen zijn:

Aanbevolen wordt om een wegbeeld simulatie te maken van de tunnel incl. de toeritten. Dit is in deze fase niet gebeurd (op de TU/e bestaan hiertoe wel faciliteiten in de vorm van een 3D simulatie ruimte).

Aanbevolen worden uniformiteit; een ruime doorsnede; lichte kleurstellingen; een duidelijke overgang van wegdek naar de wand; gebruik van kleuren, patronen en licht om variatie en stimulatie te creëren en om tunnelzones, in- en uitgangen en hulpvoorzieningen te markeren; aandacht voor de overgang buiten-binnen bij de ingangspartijen; aandacht voor de akoestiek (i.v.m. spraakverstaanbaarheid).

*Beheer en onderhoud:*

Aanbevolen wordt om onderhoudsgevoelige elementen bij voorkeur buiten de verkeersruimte te plaatsen.

*Compenserende maatregelen bij falen van tunnelinstallaties:*

Deze paragraaf is voor de booghal vooralsnog niet relevant.

## 6 Additionele aspecten

In de opdrachtomschrijving werden onder deze kop eisen geformuleerd m.b.t. de luchtkwaliteit, de inpasbaarheid en de kosten. Deze worden hier achtereenvolgens behandeld.

### 6.1 luchtkwaliteit

- voor weggebruiker
- ventilatiemogelijkheden op momenten dat de luchtkwaliteit geen probleem vormt

Dit aspect is in het voorgaande hoofdstuk al ruimschoots aan de orde geweest. Op momenten dat de luchtkwaliteit geen probleem vormt zou overgeschakeld kunnen worden op natuurlijke ventilatie. Het is denkbaar dat ter plaatse van de spanten of bij de aansluiting van de plint openingen kunnen worden gecreëerd, deze zijn ook bij de toepassing als boogstal (als rundveestal, natuurlijk geventileerd) aangebracht. Het eventuele werktuigkundige deel (denk daarbij aan regelbare kleppen) is in dit stadium niet uitgewerkt.

### 6.2 inpasbaarheid

- landschappelijk
- op- en afritten
- (flauwe) bochten
- welstand
- hinder voor omgeving (mens en dier)

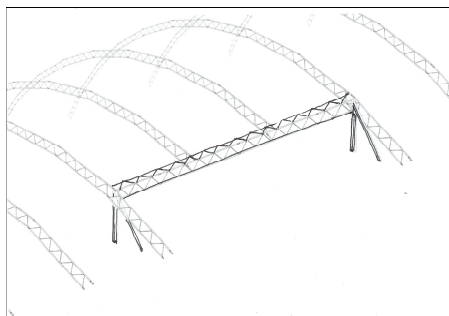
Relevante opmerkingen in dit kader zijn:

De landschappelijke inpasbaarheid is ook in het kader van de stallenbouw aan de orde geweest. Door de glooiende vorm blijkt deze een acceptabel beeld op te leveren. Geraadpleegde welstandscommissies waren in dat kader ook positief over de boogstal.

M.b.t. op- en afritten:

Een veel voorkomende situatie is dat een invoegstrook cq. uitvoegstrook wordt gerealiseerd in de zone van de vluchtstrook. Aan het begin cq. einde van de in- resp. uitvoegstrook buigt de weg van de rijstroken af. De bocht die daarbij wordt gemaakt is echter niet gestandaardiseerd. Op basis van waarneming zijn veel bochten dusdanig uitgevoerd dat met het onderbreken van twee tot drie spanten d.m.v. een portaal met een lengte van derhalve drie tot vier traveeën (17,25 tot 23,0 m) het invoegen resp. uitvoegen zonder aantasting van de bestaande situatie kan plaatsvinden.

In de begroting kan dit worden gezien als een 'kunstwerk', dat kostentechnisch gezien over een grotere lengte autoweg kan worden verdeeld. Een voorbeeld van een mogelijke oplossing is hieronder schematisch weer gegeven.



Het alternatief om de overkapping ter plaatse van op- en afritten te onderbreken (geen overkapping) valt niet onder de opdracht, doch zou wel tot een wezenlijk eenvoudiger oplossing leiden. Zeker als op- / afritten samen gaan met bovengrondse kruisingen. Het onderbreken van de overkapping is uiteraard alleen mogelijk als hier de lucht wordt gefilterd. Dat laatste zal normaal gesproken toch al nodig zijn, omdat het verkeer alleen via een zijdelingse opening in de koepel van een op- of afrit gebruik kan maken

Flauwe bochten betekent voor de constructie slechts een kleine aanpassing (niet evenwijdige spanten en licht trapeziumvormige foliebanen) zijn zonder verhoging van kosten realiseerbaar

### 6.3 kosten aanschaf/opbouw

- onderhoud
- levensduur
- mogelijkheden tot hergebruik of verplaatsing van de overkapping

Het onderhoud kan tot een minimum worden beperkt. De spanten zijn van verzinkt staal en de gekozen folie is antistatisch, waardoor vuil niet zal hechten. Mede hierdoor wordt ook de vorming van algen aan de buitenzijde voorkomen. Het windbreekgaas aan de buitenzijde vormt hiertegen een extra bescherming. Alleen bij beschadigingen zal de folie moeten worden gerepareerd of dienen banen te worden vervangen.

De levensduur van de spanten en zijpanelen ligt in de orde van 20 jaar. De folie gaat naar verwachting minimaal 10 jaar mee.

Het is denkbaar dat door maatregelen bij de bron (de auto) na bijvoorbeeld 10 jaar de overkappingen overbodig zijn geworden. De spanten zullen in dat geval een restwaarde vertegenwoordigen. O.a. in de stallenbouw in Nederland, maar ook elders in Europa kunnen de spanten opnieuw worden ingezet.

Ook is de overkapping demontabel en kan elders over een weg worden opgebouwd.

Niet in de opdrachtomschrijving behandelde aspecten zijn:

- *Vandalisme.* Bescherming tegen vandalisme is mogelijk door een beschermend staalnet aan de buitenzijde toe te passen. In het doorgerekende alternatief is uitgegaan van sandwichpanelen in het onderste segment (tot ca. 5m hoog).
- *Beklimmen van spanten.* Het voorkomen van het beklimmen van de spanten is mogelijk door deze aan de buitenzijde met een vlakke, gladde plaat te bekleden. Dit is meegenomen in de kostprijscalculatie.
- *Geluidsisolatie.* Door toepassing van sandwichpanelen in het onderste segment zal de hal ook als geluidsscherm een bijdrage kunnen hebben.
- *Aanbrengen verkeerssignalering en verlichting.* Besparing op verkeerssignalering is mogelijk omdat in de hal geen windbelasting is. Te overwegen is om deze op te hangen aan de spanten (horizontale voorziening hiervoor reeds besproken). Tevens is de middenondersteuning die gebruikt wordt voor de scheiding van de twee weghelften hiervoor te gebruiken. Ook in de spanten is met enige reserve voor op te hangen voorzieningen rekening gehouden. Of dit voldoende is, is mede afhankelijk van de verdere uitwerking en de op te hangen voorzieningen.
- *Gladheidbestrijding;*  
De overkapte wegen zullen geen last hebben van natte en bevroren weggedeelten . Gladheidbestrijding zal hier dus niet noodzakelijk zijn.

- *Verkeersoponhoud (files) bij onderhoud;*  
Door toepassing van het in hoofdstuk 4 besproken werkplatform, kan onderhoud plaatsvinden zonder verkeersoponhoud. Dit levert dus een besparing op inzake het niet hoeven treffen van veiligheidsvoorzieningen en lokale signalering. Files en oponhoud genereren overigens ook grote maatschappelijke kosten.
  
- *Veiligheid bij wind*  
De ruimte onder de overkapping is nagenoeg windvrij. Het risico op ongelukken t.g.v. windvlagen (caravans, vrachtauto's) wordt daarmee uitgesloten.

## 7 Kostenraming

Als onderdeel van de studie is een kostenraming opgesteld. Deze is opgesteld door de Booghal BV in overleg met Van der Hoeven BV (productie spanten) en van den Heuvel BV (spannen folie).

Uitgangspunten voor de kostenraming zijn:

- De montage van de spanten vindt plaats met behulp van een of meerdere kranen. Per kraan wordt 60 m<sup>1</sup> per dag gerealiseerd; Het aanbrengen van folie gaat met een snelheid van 23 tot 46 m<sup>1</sup> per dag (dit kan geheel zonder kraan worden uitgevoerd);
- Voor het transport is gerekend met een gemiddelde te overbruggen afstand van 200 km;
- Voor de onderste zone aan de zijkanten van de overkapping is i.v.m. bescherming gerekend met een gesloten of steviger materiaal a € 50,= per m<sup>2</sup> incl aanbrengen;
- Het onderste element (van de boog) zal worden voorzien aan de buitenkant van een vlakke, gladde plaat zodat beklimmen onmogelijk is.
- Het werk wordt door een aparte werkmaatschappij (werknemers van Van der Hoeven en van den Heuvel ) onder Booghal BV uitgevoerd. Capaciteit per jaar ca. 150 km<sup>1</sup>.
- In principe behoeven de spanten en het folie geen onderhoud, bij beschadiging kan zonder verkeers hinder (d.m.v. het rijdend werkplatform) de folie worden vervangen. Levensduur minimaal 10 jaar.

De bouwkosten voor het gevraagde proefvak van 1000 m<sup>1</sup> (opp. 50.000 m<sup>2</sup>) kunnen realistisch worden begroot op € 4.898.000,= exclusief BTW. Per m<sup>2</sup> komt dit neer op € 98,-. Dit is als volgt te specificeren.

Overzichtstabel kostprijsopzet snelwegoverkapping	per m1 weg	per spantvak	per 1000 m	per m2
<b>tussenbermscheiding inclusief montage</b>				
uitvoering indien geheel folie	€ 548,00	€ 3.151,00	€ 548.000,00	€ 10,96
uitvoering folie met 3,2 meter(hoogte) plint in prefab betonpanelen	€ 1.175,00	€ 6.756,25	€ 1.175.000,00	€ 23,50
voorzieningen voor de werkbrug tussenberm + zijkanten	€ 475,00	€ 2.731,25	€ 475.000,00	€ 9,50
<b>overkapping breed 50 meter incl. hulpstukken en transport</b>				
onderzijde 5 meter hoog sandwichpaneel incl vluchtdeur	€ 1.200,00	€ 6.900,00	€ 1.200.000,00	€ 24,00
stalen bogen inclusief koppelstukken en windverbanden	€ 1.122,00	€ 6.451,50	€ 1.122.000,00	€ 22,44
folie + windbreekgas inclusief montage	€ 1.357,00	€ 7.802,75	€ 1.357.000,00	€ 27,14
montage bogen + alle koppelstukken + kraankosten	€ 634,00	€ 3.645,50	€ 634.000,00	€ 12,68
diversen + onvoorzien	€ 37,00	€ 212,75	€ 37.000,00	€ 0,74
<b>subtotaal</b>	€ 4.350,00	€ 25.012,50	€ 4.350.000,00	€ 87,00
<b>Totaal incl tussenbermscheiding geheel folie</b>	€ 4.898,00	€ 28.163,50	€ 4.898.000,00	€ 97,96
<b>Totaal incl tussenbermscheiding folie + prefab elementen</b>	€ 5.525,00	€ 31.768,75	€ 5.525.000,00	€ 110,50
<b>2 werkbruggen behorende bij 1000m overkapping</b>			€ 540.000,00	

Deze kostprijsopzet is exclusief onderbrekingen t.g.v. op- en afritten. Indien voor een oplossing met een portaal wordt gekozen, kunnen die kosten over een groter tracé worden verdeeld. Het portaal is niet berekend, maar rekenend met een stelpost van € 50.000,- per portaal, 4 stuks per op- / afritgroep en een verdeling over 2000 m autoweg, komen de kosten per m<sup>2</sup> uit op € 2,- per m<sup>2</sup>.

De kostprijs is ook exclusief fundering. Deze kan nl. per locatie sterk verschillen. Rekening houdende met een heipaal per spantvoet in een gemiddelde situatie wordt aldus de m<sup>2</sup> prijs met ca. € 3,- verhoogd.

Bij een economische afweging dienen tevens de volgende aspecten betrokken te worden:

- Het onderhoud van de foliehal is over een periode van 10 jaar nihil. Een reservering wordt gemaakt m.b.t. het vervuilen van de folie aan de binnenzijde t.g.v. verkeer. Het risico daarop is in dit stadium met de beschikbare kennis niet in te schatten;
- I.g.v. beschadiging dient de folie te worden vervangen. De vervangingskosten van de folie komt uit op ca. € 4.000,- per volledig spantvak (lang niet altijd noodzakelijk) per laag. Het vervangen van beide lagen in een arbeidsgang (folie + gaas) komt op € 7.500,-;
- Er zijn belangrijke kostenreducties mogelijk door
  - het vermijden van files,
  - het ontbreken van gladheidbestrijding,
  - het beschaduwen van het asfalt in de zomer (onderhoudsbesparing),
  - verkeerssignalering en verlichting (geen aparte masten noodzakelijk, geen te berekenen windbelasting),
  - geluidsisolatie (geen geluidsschermen noodzakelijk);
- Na beëindiging van het project hebben de spanten een restwaarde, bijvoorbeeld in de agrarische sector (stallenbouw), evenementenhallen, overkapping van opslag, etc. Dit in Nederland, maar zeker ook in het buitenland;
- Na beëindiging van het project zijn er hoegenaamd geen sloopkosten.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

Uit het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Een overspanning van 50 m is binnen het bouwbesluit en de vigerende constructie normen technisch realiseerbaar. Daarbinnen past het aangegeven wegprofiel van twee maal drie rijstroken en twee vluchtstroken met respect voor de minimaal aangegeven vrije hoogte;
- Het booghal principe biedt gunstige uitgangspunten om aan de veiligheidseisen te kunnen voldoen. Dit betreft zowel het zicht overdag en in het donker als ook de brandveiligheid;
- De landschappelijke acceptatie alsmede de welstandacceptatie is positief. Binnen hetzelfde concept zijn er speelmogelijkheden met kleur;
- Voorkomende situaties zoals doorbrekingen voor op- en afritten, voorkomende bochten, nooddeuren, zijn oplosbaar;
- De initiële kosten bedragen afhankelijk van voorzieningen en uitgangspunten ca. € 100,- a € 115,- per m<sup>2</sup>;
- De onderhoudskosten zijn gering, voorts is er aan het eind een restwaarde en zorgt de booghal ook voor besparingen (wegonderhoud, eenvoudigere oplossingen voor wegsignalering en verlichting, etc.);
- Op grond van de mate waarin aan de eisen kan worden voldaan, de investeringskosten en de gunstige exploitatie uitgangspunten wordt het systeem als technisch economisch haalbaar beoordeeld;
- Als volgende stap dienen enkele aspecten nader te worden onderzocht. Daarbij wordt gedacht aan een of meerdere brandproeven met temperatuurmetingen en rookontwikkeling, onderzoek naar het ventilatiegedrag (zou door derden worden uitgewerkt), simulatie van de verlichting, etc.  
Geadviseerd wordt om tevens als een van de eerste stappen een proeftracé te realiseren, waarin een deel van genoemde en andere proeven kan worden uitgevoerd. Voorts dienen aspecten verder te worden geengineerd, zoals het werkplatform, het ventilatieconcept, de constructie voor verlichting en wegsignalering, de afwatering, de fundering en uiteraard ook het genoemde eerste proeftracé.  
Hiertoe dient een ontwikkelingsplan te worden opgesteld (acties, waar uit te voeren, planning, kosten, etc.).



## Bijlage: Constructieberekening

TS/Raamwerken

Project...  
 Onderdeel: h=700  
 Dimensies: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)  
 Datum....  
 Bestand...: t:\roel\berekeningen technosoft\boog 700.rww

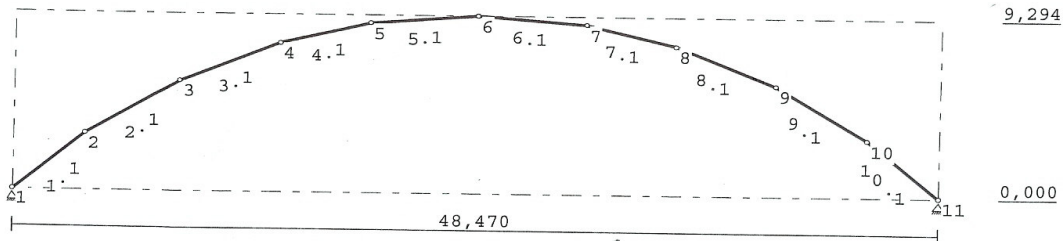
Belastingbreedte.: 6.900  
 Toegepaste norm.: TGB 1990  
 Rekenmodel.....: 2e-orde-elastisch.  
 Theorieën voor de bepaling van de krachtsverdeling:

- 1) Uiterste grenstoestand:  
 Geometrisch niet lineair alle staven.  
 Fysisch lineair alle staven.
- 2) Gebruiksgrenstoestand:  
 Geometrisch niet lineair alle staven.  
 Fysisch lineair alle staven.

Maximum aantal iteraties.....: 50  
 Max.deellengte kolommen/wanden: 0.500 Max.deellengte balken/vloeren: 0.500  
 Max. X-verplaatsing in UGT....: 0.500 Max. Z-verplaatsing in UGT...: 0.250

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt

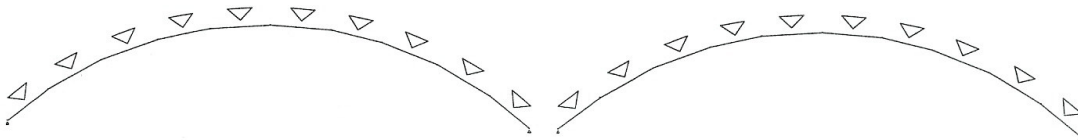
**GEOMETRIE**



**LASTVELDEN**

Wind staven

Sneeuw staven

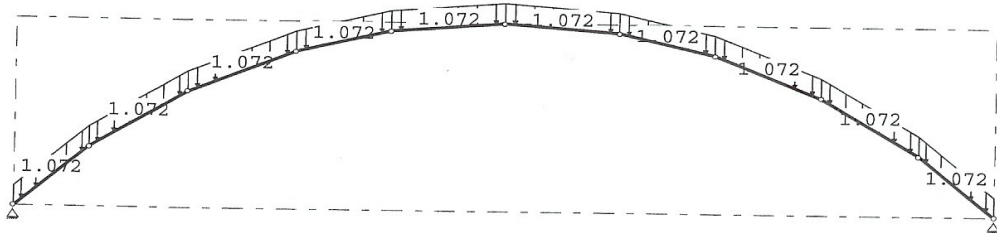


TS/Raamwerken

Project...  
Onderdeel: h=700

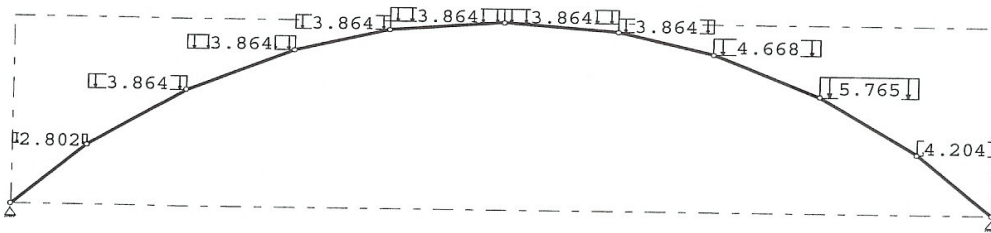
**BELASTINGEN**

B.G:1 Permanente belasting



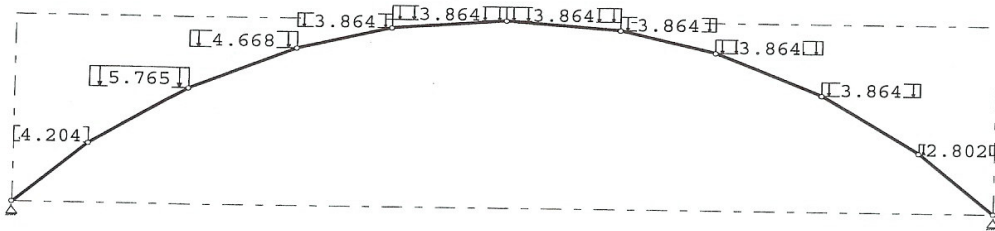
**BELASTINGEN**

B.G:2 Sneeuw A



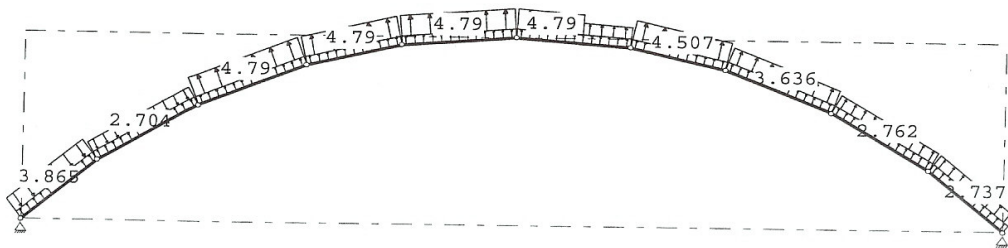
**BELASTINGEN**

B.G:3 Sneeuw B



**BELASTINGEN**

B.G:4 Wind van links overdruk A

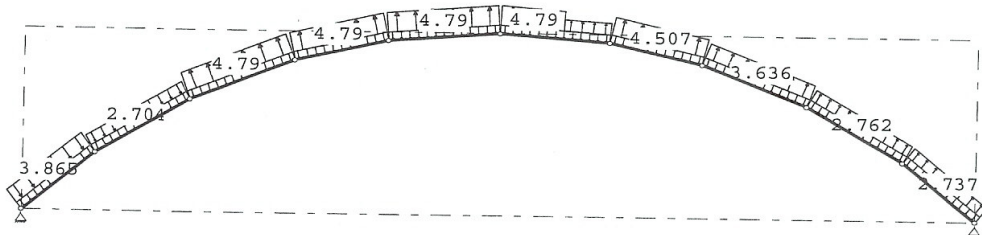


TS/Raamwerken

Project...  
Onderdeel: h=700

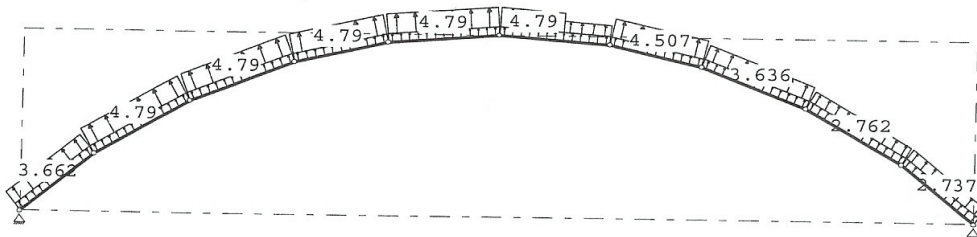
**BELASTINGEN**

B.G:5 Wind van links onderdruk A



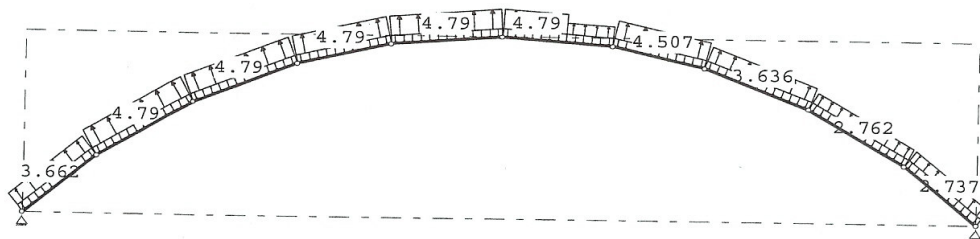
**BELASTINGEN**

B.G:6 Wind van links overdruk B



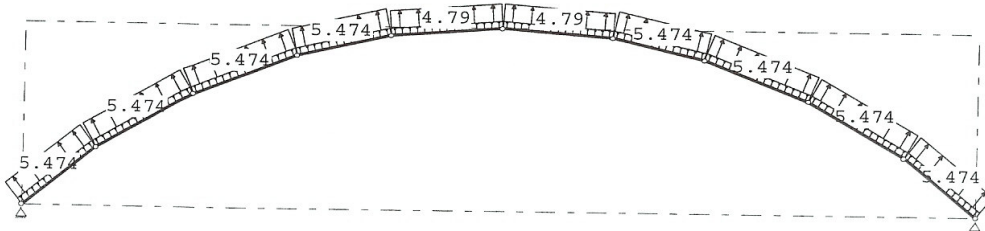
**BELASTINGEN**

B.G:7 Wind van links onderdruk B



**BELASTINGEN**

B.G:8 Wind loodrecht overdruk



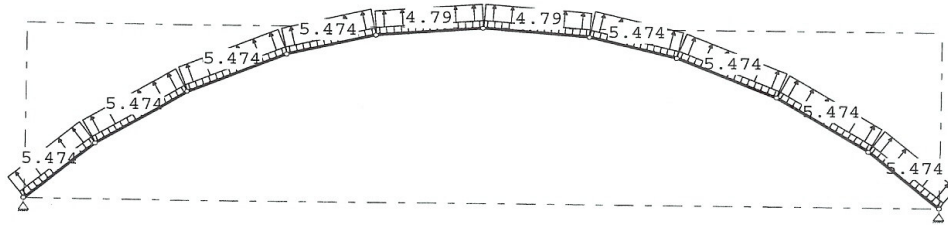
TS/Raamwerken

Project...:

Onderdeel: h=700

**BELASTINGEN**

B.G:9 Wind loodrecht onderdruk

**BEREKENINGSTATUS**

Controlerende berekening

B.C. Iteratie Status

1	3	Nauwkeurigheid bereikt
2	4	Nauwkeurigheid bereikt
3	4	Nauwkeurigheid bereikt
4	4	Nauwkeurigheid bereikt
5	3	Nauwkeurigheid bereikt
6	4	Nauwkeurigheid bereikt
7	4	Nauwkeurigheid bereikt
8	4	Nauwkeurigheid bereikt
9	3	Nauwkeurigheid bereikt
10	3	Nauwkeurigheid bereikt
11	3	Nauwkeurigheid bereikt
12	4	Nauwkeurigheid bereikt
13	4	Nauwkeurigheid bereikt
14	3	Nauwkeurigheid bereikt
15	4	Nauwkeurigheid bereikt
16	3	Nauwkeurigheid bereikt
17	3	Nauwkeurigheid bereikt
18	3	Nauwkeurigheid bereikt

**BELASTINGCOMBINATIES**

BC Type	BG Gen.	Factor	BG Gen.	Factor	BG Gen.	Factor	BG Gen.	Factor
1 Fund.	1 Perm	1.20	5 Extr	1.20				
2 Fund.	1 Perm	1.20	7 Extr	1.20				
3 Fund.	1 Perm	1.20	4 Extr	1.20				
4 Fund.	1 Perm	1.20	6 Extr	1.20				
5 Fund.	1 Perm	1.20	9 Extr	1.20				
6 Fund.	1 Perm	1.20	8 Extr	1.20				
7 Fund.	1 Perm	1.20	2 Extr	1.20				
8 Fund.	1 Perm	1.20	3 Extr	1.20				
9 Fund.	1 Perm	1.35						
10 Inc.	1 Perm	1.00	5 Extr	1.00				
11 Inc.	1 Perm	1.00	7 Extr	1.00				
12 Inc.	1 Perm	1.00	4 Extr	1.00				
13 Inc.	1 Perm	1.00	6 Extr	1.00				
14 Inc.	1 Perm	1.00	9 Extr	1.00				
15 Inc.	1 Perm	1.00	8 Extr	1.00				
16 Inc.	1 Perm	1.00	2 Extr	1.00				

TS/Raamwerken

Project..:

Onderdeel: n=700

**BELASTINGCOMBINATIES**

BC Type	BG Gen. Factor	BG Gen. Factor	BG Gen. Factor	BG Gen. Factor
17 Inc.	1 Perm	1.00	3 Extr	1.00
18 Perm.	1 Perm	1.00		

**GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN**

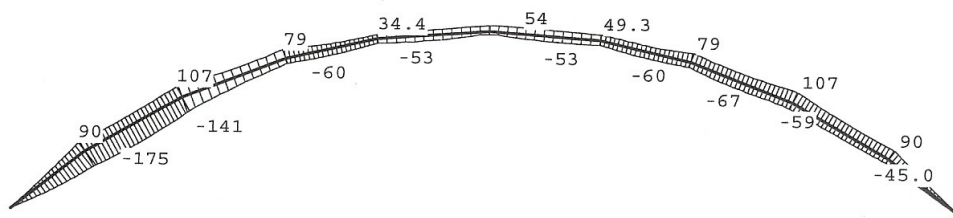
BC Staven met gunstige werking

- 1 3-10
- 2 1-10
- 3 3-10
- 4 1-10
- 5 1-10
- 6 1-10
- 7 Geen
- 8 Geen
- 9 Geen

**OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES****MOMENTEN**

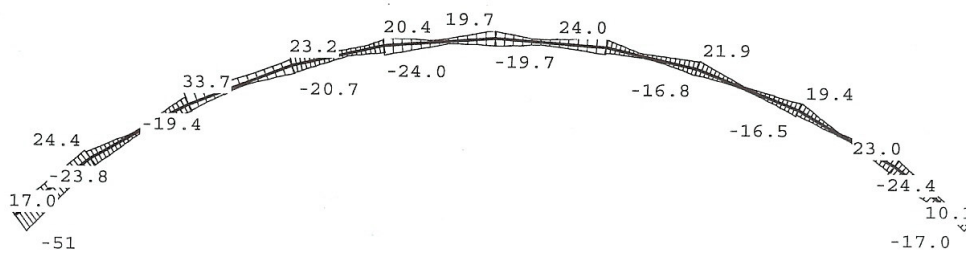
2de orde

Fundamentele combinatie

**DWARSKRACHTEN**

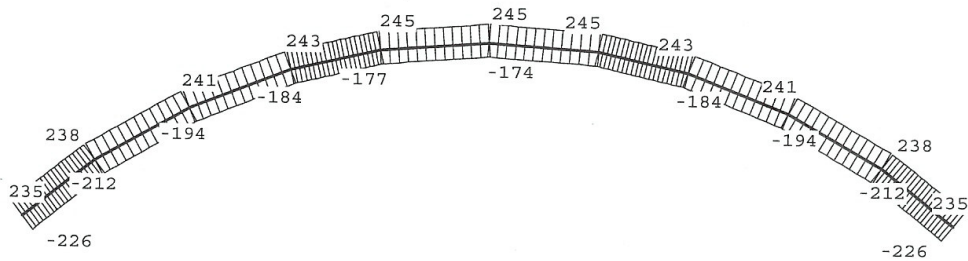
2de orde

Fundamentele combinatie



Project...  
Onderdeel: h=700

**NORMAALKRACHTEN** 2de orde Fundamentele combinatie

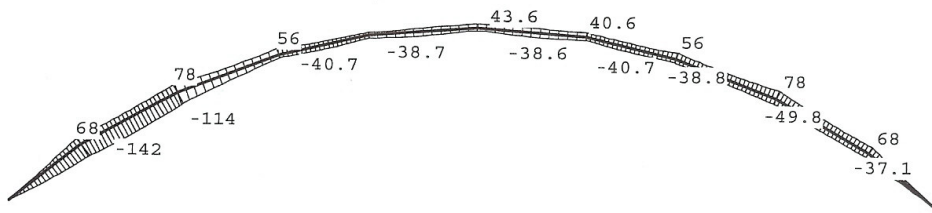


**REACTIES** 2de orde Fundamentele combinatie

Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-173.43	174.31	-160.00	143.81		
11	-174.31	173.43	-160.00	143.81		

**OMHULLENDE VAN DE INCIDENTELE COMBINATIES**

**MOMENTEN** 2de orde Incidentele combinatie



**REACTIES** 2de orde Incidentele combinatie

Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-135.79	145.16	-126.23	120.00		
11	-145.16	135.79	-126.23	120.00		

**OMHULLENDE VAN DE PERMANENTE BELASTINGEN**

**REACTIES** 2de orde Permanente belasting

Kn.	X	Z	M
1	35.16	28.44	
11	-35.16	28.44	

**Sterkteberekening op buiging / afschuiving / axiale trek**

Fe 430 → 0,2% rekgrens (koudgevormd buisprofiel met lasnaad)  
 $f_{y,d}$  (N/mm<sup>2</sup>) = 280  
 $E$  (N/mm<sup>2</sup>) =  $2,1 \times 10^5$   
 $A$  (mm<sup>2</sup>) =  $2 \times A_{\text{buis,boven}} + 1 \times A_{\text{basis,onder}}$   
 $I_y$  (mm<sup>4</sup>) =  $(2 \times A_{\text{buis,boven}} \times (1/3 \times h)^2) + (A_{\text{basis,onder}} \times (2/3 \times h)^2)$   
 $W_y$  (mm<sup>3</sup>) =  $I_y / (2/3 \times h)$

**Belastingen (fundamentele combinaties)**

ligger	A	B	C
$M_d$ (kNm) =	44,5	85	175
$V_d$ (kN) =	21	31,3	51
$N_{t;s;d}$ (kN) =	79	151	245

**Belastingen (incidentele combinaties)**

ligger	A	B	C
$M_{rep}$ (kNm) =	35,7	69	142

**Buiging**

$$W_{y,ben} = \frac{M_d \times 10^6}{f_{y,d}}$$

Uiterste grenstoestand:

$$\frac{W_{y,ben}}{W_y} \leq 1$$

bruikbaarheidsgrenstoestand:

$$u_{eind} = 2 \times 0,004 \times l$$

$$u_{tot} = (5/48) \times \frac{M_{rep} \times l_{\text{halve boog}}^2}{E \times I_y} \quad \frac{u_{eind}}{u_{tot}} \leq 1$$

**Afschuiving**

doorsnede = klasse 1 dus  $V_{z;t;d} = V_{pl}$

maximale kracht gaat door onderrand (1 buis)

$$V_{pl} = \frac{2 \times A_b}{\pi} \times \frac{f_{y,d}}{\sqrt{3}} \quad \frac{V_{z;t;d}}{V_{z;t;d}} \leq 1$$

**Axiale druk**

$$N_{t;w;d} = A \times f_{y,d} \quad \frac{N_{t;s;d}}{N_{t;w;d}} \leq 1$$

**Knik**

$$N_{c;s;d} = N_{t;s;d} / (A_{\text{buis}}/A_{\text{tot}})$$

$$N_{c;w;d} = A \times f_{y,d}$$

$$\lambda_e = 86,81$$

$$\lambda_{y,rel} = \lambda_y / \lambda_e$$

$$\lambda_y = I_{y,buc} / i_y$$

Instabiliteitskromme c voor  $\omega_{buc}$  bij  $\lambda_{rel}$

$$\frac{N_{c;s;d}}{\omega_{buc} \times N_{c;w;d}} \leq 1$$

**Optimalisatie per hoofdligger (Spanning per ligger)**

ligger boven:  $\frac{M / 2h_t}{A_{\text{buis}}} + \frac{N_{t;s;d} \times (A_{\text{buis}}/A_{\text{tot}})}{A_{\text{buis}}} \leq 280 \text{ N/mm}^2$

ligger onder:  $\frac{M / h_t}{A_{\text{buis}}} - \frac{N_{t;s;d} \times (A_{\text{buis}}/A_{\text{tot}})}{A_{\text{basis}}} \leq 280 \text{ N/mm}^2$



### Ligger C1 / C2

h (mm) = 805  
l (mm) = 5428

h<sub>1</sub> = 728,9

Ø = 76,1  
t = 2,9

A<sub>h</sub> (mm<sup>2</sup>) = 667  
M<sub>h</sub> (kg/m) = 5,24  
I<sub>h</sub> (x10<sup>4</sup> mm<sup>4</sup>) = 44,73  
W<sub>y</sub> (x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>) = 11,76

Ø = 76,1  
t = 5

A<sub>h</sub> (mm<sup>2</sup>) = 1117  
M<sub>h</sub> (kg/m) = 8,77  
I<sub>h</sub> (x10<sup>4</sup> mm<sup>4</sup>) = 70,92  
W<sub>y</sub> (x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>) = 18,64

Ø = 33,7  
t = 2,6

A<sub>d</sub> (mm<sup>2</sup>) = 254  
M<sub>d</sub> (kg/m) = 1,99  
I<sub>d</sub> (mm<sup>4</sup>) x10<sup>4</sup> = 3,09  
W<sub>d</sub> (x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>) = 1,83

A (mm<sup>2</sup>) = 2451  
I<sub>y</sub> (mm<sup>4</sup>) x10<sup>4</sup> = 34251  
W<sub>y</sub> (mm<sup>3</sup>) x10<sup>-2</sup> = 638

c<sub>h</sub> = 1,15 hoogtecorrectiefactor (h/700)

#### gewicht ligger C1

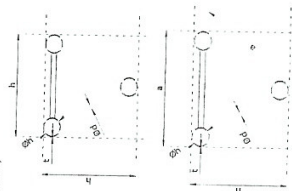
hoofdliggers: 104,49 kg  
diagonalen: 41,95 kg  
Totaal: 146,44 kg

Totaal/m 26,98 kg/m

#### gewicht ligger C2 (geëlijkzijdig)

hoofdliggers: 104,49 kg  
diagonalen: 45,66 kg  
Totaal: 150,14 kg

Totaal/m 27,66 kg/m



### Sterkte:

E (N/mm<sup>2</sup>) = 210000  
f<sub>yd</sub> (N/mm<sup>2</sup>) = 280 (Fe 430, 0,2% rekgrens)  
M<sub>d</sub> (kNm) = 175  
M<sub>rep</sub> (kNm) = 142  
V<sub>d</sub> (kN) = 51  
N<sub>tsed</sub> (kN) = 245

Buiging: W<sub>y,ben</sub> x10<sup>3</sup> m 625,00

uiterste grenstoestand:

$W_{y,ben}/M_y = 0,980 < 1?$

bruikbaarheidsgrenstoestand:

u<sub>max</sub> (mm) = 204,80

u<sub>lestaal</sub> (mm) = 134,77

$u_{max}/u_{lestaal} = 0,66 < 1?$

Afschuiving: V<sub>d</sub> (kN) = 114,96 over onderste buis

$V_d/V_{pl} = 0,44 < 1?$

Trek: N<sub>tsud</sub> (kN) = 312,76 over onderste buis

$N_{tsud}/N_{tsud} = 0,78 < 1?$

### Optimalisatie per ligger (spanning per buis):

Hoofdbuizen boven:

$$\frac{M/2h_1}{A_{buis}} + \frac{N_{tsud}/(A_{buis}/A_{top})}{A_{buis}} \leq 280 \text{ N/mm}^2$$

$$179,98 + 99,96 = 279,94 \leq 280 \text{ N/mm}^2$$

Hoofdbuis onder:

$$\frac{M/h_1}{A_{buis}} - \frac{N_{tsud}/(A_{buis}/A_{top})}{A_{buis}} \leq 280 \text{ N/mm}^2$$

$$214,94 - 99,96 = 114,98 \leq 280 \text{ N/mm}^2$$