

Lichte overkapping voor autosnelwegen

Haalbaarheidsstudie naar het overkappen van wegen om plaatselijk de luchtkwaliteit te verbeteren



Conceptueel Ontwerp

Dienst Weg- en Waterbouw Rijkswaterstaat

mei 2006

Definitief

Lichte overkapping voor autosnelwegen

Haalbaarheidsstudie naar het
overkappen van wegen om
plaatselijk de luchtkwaliteit te
verbeteren

Conceptueel Ontwerp

dossier : X4111.01.001

registratienummer : DT-SE20060322

versie : 1

Opdrachtgever: Dienst Weg- en Waterbouw Rijkswaterstaat

Uitgevoerd door: DHV in samenwerking met NIO architecten

mei 2006

Definitief

INHOUD

BLAD

1	IS HET OVERKAPPEN VAN EEN AUTOSNELWEG HAALBAAR?	3
1.1	Luchtverontreiniging leidt tot bouwstops	3
1.2	Doelstelling	4
2	PROGRAMMA VAN EISEN	5
2.1	Algemene eisen ten aanzien van het ontwerp	5
2.2	Veiligheidseisen	5
2.3	Milieueisen	7
2.4	Inpasbaarheid	7
2.5	Constructieve eisen	8
2.6	Aandachtspunten voor de kostenraming	9
3	BESCHRIJVING VAN HET CONCEPTUEEL ONTWERP	10
3.1	Vergelijking van verschillende modellen	11
3.2	Afdek materiaal	13
3.3	Constructie	17
3.3.1	Ontwerpkeuze in relatie tot brandveiligheid	17
3.3.2	Dimensionering hoofddraagconstructie	19
3.3.3	Dimensionering betonnen scheidingswanden en fundatie	20
4	KOSTENRAMING	21
5	RISICO'S	24
5.1	In scope	24
5.2	Out of scope	24
6	CONCLUSIES	25

6.1	Aanbevelingen	25
6.1.1	Aandachtspunt veiligheid	26
7	COLOFON	28

BIJLAGEN

1	Fysische eigenschappen overkappingsmaterialen
2	Visualisaties ontwerp Banaandak
3	Visualisaties ontwerp Lamellendak
4	Visualisaties op- en afritten
5	Kostenraming alternatief 1: Banaandak
6	Kostenraming alternatief 2: Lamellendak

1 IS HET OVERKAPPEN VAN EEN AUTOSNELWEG HAALBAAR?

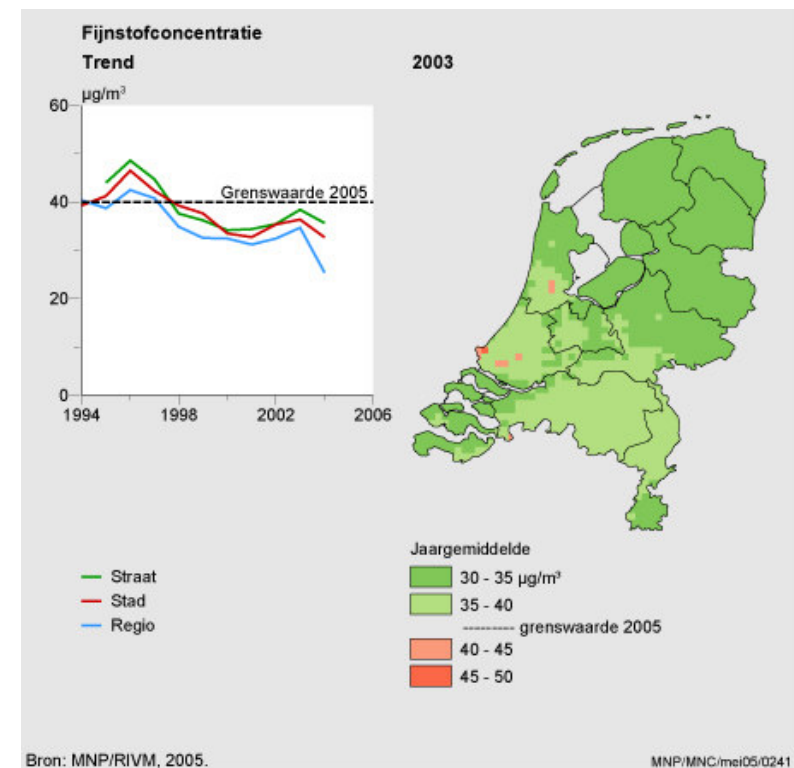
In het kader van de verbetering van de luchtkwaliteit zijn er door de dienst weg- en waterbouwkunde een aantal onderzoeken uitgezet. De studie naar het overkappen van autosnelwegen is één van deze onderzoeken.

1.1 Luchtverontreiniging leidt tot bouwstops

In delen van Nederland, met name in gebieden grenzend aan autosnelwegen, is de luchtkwaliteit op dit moment onvoldoende. De luchtverontreiniging is zodanig dat er in diverse van deze gebieden geen woningen meer bijgebouwd mogen worden, zolang de luchtkwaliteit onvoldoende is.

Het overkappen van wegen wordt als één van de oplossingen voor het probleem gezien. Uitgangspunt hierbij is dat het overkappen van een weg de luchtverontreiniging plaatselijk kan doen verminderen. Op deze wijze kan in gebieden waar de normen voor luchtkwaliteit nu niet gehaald worden de verontreiniging binnen de perken gehouden worden. Aan de uiteinden van de overkapping zal hierdoor wel een hogere uitstoot ontstaan. Het is dan zaak om deze uiteinden zo te situeren dat de normwaarden daar ook niet overschreden worden of door de uiteinden te voorzien van een filtersysteem voor de lucht.

Op dit moment is er in Nederland nog geen ervaring opgedaan met het overkappen van wegen ter bevordering van de luchtkwaliteit. Een overkapping zal aan een reeks technische eisen moeten voldoen, zodat de veiligheid gewaarborgd is. Een ander belangrijk aandachtspunt is de kostprijs, zowel voor de bouw als het onderhoud van de constructie. Op beide punten is er nog onvoldoende duidelijkheid om de (on)haalbaarheid van zo'n overkapping aan te kunnen tonen.



afbeelding 1 Fijnstof (PM10) concentratie in Nederland 2003

1.2 Doelstelling

Doel van de studie is om de haalbaarheid van een overkapping van een autosnelweg te onderzoeken, waardoor de luchtkwaliteit van het aangrenzende gebied wordt verbeterd. De belangrijkste aandachtspunten hierbij zijn:

- Hoe ziet een dergelijke constructie eruit, welke materialen worden gebruikt?
- Kan worden voldaan aan eisen gesteld aan de veiligheid?
- Is een overkapping goed inpasbaar in de omgeving, rekening houdend met dichte bebouwing kruisende wegen etc.?
- Is de luchtkwaliteit voor de weggebruiker voldoende?
- Wat zijn de realisatiekosten voor 1000 meter overkapping over een autosnelweg met 2*3 rijstroken? Wat kost het onderhoud?

De haalbaarheid van luchtzuivering behoort niet tot de studie.

2 PROGRAMMA VAN EISEN

Het programma van eisen is samengesteld uit de eisen die zijn meegegeven vanuit de opdrachtgever en de eisen die aanvullend door een groep deskundigen in een workshop zijn samengesteld. De eisen gelden op hoofdlijnen als uitgangspunten voor het ontwerp. Nadere uitgangspunten ten aanzien van de constructie en de veiligheid worden in hoofdstuk 3 nader beschreven. De eisen zijn naar onderwerp gerangschikt:

2.1 Algemene eisen ten aanzien van het ontwerp

Voor het ontwerp is een maatgevend wegprofiel met de volgende kenmerken:

- 2*3 rijstroken met aan weerszijden een vluchtstrook
- minimale vrije hoogte van 6,00 meter i.v.m. het aanbrengen van matrixborden en bewegwijzering
- ontwerp bevat een op/afrit

In de bijlagen is het complete wegprofiel weergegeven

2.2 Veiligheidseisen

Bij tunnels en overkappingen langer dan 500 m moet voldaan worden aan alle veiligheidseisen die worden gesteld in de Nederlandse tunnelwetgeving. Omdat verwacht mag worden dat een lichte overkapping met als doel het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit langer zal zijn dan 500 m, dienen we dus met deze eisen rekening te houden. Dit heeft o.a. allerlei procedurele gevolgen, zoals het aanmaken van een veiligheidsdossier, zelfredzaamheidsplan, hulpverleningsplan, scenarioanalyse etc.

Over het algemeen zijn de oplossingen bij een (lichte) overkapping van een weg op maaiveld eenvoudiger te realiseren dan bij een tunnel onder de grond of onder water. Zo zijn vluchtwegen eenvoudig te realiseren door deuren in de constructie, waardoor men direct buiten is (vergelijkbaar met bij een scherm). De vluchtwegen zijn daardoor veel korter en er hoeven geen extra tunnelbuizen aangelegd te worden. Omdat de kosten van een lichte overkapping lager zijn dan bij een tunnel, is het ook mogelijk alles veel ruimer te dimensioneren. De voorkeur om geen op- en afritten in of bij een tunnel toe te staan, kan daarom bij een lange overkapping ook een andere invulling krijgen.

Op enkele plaatsen vragen de eisen een interpretatie die bij een lichte overkapping anders is dan bij een tunnel. De eis van 'minimaal 2 uur brandwerendheid' is vanzelfsprekend bij een tunnel; het instorten of opgeven van de constructie van een tunnel onder grond of water heeft dermate grote gevolgen dat men hoge eisen mag stellen om dit te voorkomen. Bij een lichte overkapping waarboven de open lucht is, ligt dit anders. Het kan zelfs een voordeel zijn dat er snel (gecontroleerd) een gat in het dak ontstaat, waardoor rook en eventuele andere schadelijke stoffen kunnen ontsnappen. Bij zeer lichte, zelfdragende opblaasconstructies kan dit zelfs een deel van de constructie betreffen.

Een geheel ander aspect waarin het belangrijk is de geest van de wet te onderzoeken in plaats van de strikte letter te volgen, is bij overkappingen die in het geval van gunstige luchtkwaliteit open zijn. Men zou ook kunnen denken aan een overkapping die in het geval van een calamiteit open gaat. We komen hiermee in een gebied dat bij het opstellen van de wetgeving niet in ogenschouw is genomen.

De volgende eisen uit de tunnelwetgeving zullen worden overgenomen:

- Ruimte voor info boven de weg (afkruisen, monitoring)
- Mechanische ventilatie
- Gescheiden rijrichtingen (voorkomen van overslaan rook. Optie: evt luiken die open kunnen)
- Bedieningscentrale (videobewaking, detectie)
- Vluchtdeuren om 400 m (eis geluidsschermen)
- Verlichting, verlichtingsovergang voldoende, voorkomen stroboscopisch effect
- Constructie blijft staan bij vrachtwagen door vangrail
- Vluchtwegen rookvrij
- Veilige ruimte in 5 min te bereiken (vluchtweg 1,2 m breed)
- Radio-ontvangst aanwezig

De eis van minimaal 2 uur brandwerendheid wordt om de hierboven genoemde reden genegeerd. Overigens worden aan de portalen waar bijvoorbeeld de matrixborden hangen deze eisen (terecht) ook niet gesteld. Het ontwerp van de overkapping dient zodanig te zijn dat ook bij een grote brand geen gevaar ontstaat door het bezwijken van de constructie. Dit houdt in dat het effect plaatselijk dient te zijn en dat de gevolgen beperkt moeten blijven.

De organisatorische eisen (zoals het aanmaken van een veiligheidsdossier, zelfredzaamheidsplan, hulpverleningsplan, scenarioanalyse etc.) zijn voor een lichte overkapping realistisch, maar zijn in dit stadium niet aan de orde.

2.3 Milieueisen

De behandeling van de lucht in de tunnel behoort niet tot de scope van de studie. Er gelden geen eisen ten aanzien van de concentratie fijnstof in tunnels of onder overkappingen. Ten aanzien van de luchtkwaliteit in de tunnel gelden de volgende aandachtspunten:

- Concentratie aan verontreinigende stoffen mag niet te hoog worden (ventilatie)
- Ventilatie dient rekening te houden met files
- Locatie van eventuele filters kan constructieve consequenties hebben
- Zuivering van de lucht vindt aan de uiteinden van de tunnelbuis plaats

Verder kan het ontwerp eventueel geïntegreerd worden met een geluidsscherm, waardoor er een dubbele functie voor de overkapping ontstaat.

2.4 Inpasbaarheid

De inpasbaarheid is niet vertaald in strikte eisen, maar in aandachtspunten voor het ontwerp:

Bij het ontwerp van de overkapping in bochten dient rekening te worden gehouden met het verschil in lengte van de buiten- en de binnenbocht.

Voor de overkapping ter plaatse van op/afritten zijn de volgende punten van belang:

- Overspanning moet plaatselijk groter worden
- Voldoende zichtlengte: (profiel dient 10 s constant te blijven, ca 350 m)
- Slurfjes voor op/afrit

De herbruikbaarheid van de overkapping is een aandachtspunt. Tevens wordt er gekeken naar de mogelijkheid om de overkapping in situaties dat de fijnstofconcentraties laag zijn, open te kunnen zetten.

De kap komt vermoedelijk in een stedelijke omgeving te staan, bv over een ringweg van een grote stad. Ten aanzien van sociale veiligheid is een transparante constructie gewenst. De reinigbaarheid van de constructie is hierbij een aandachtspunt. Mogelijk kan gedacht worden aan zonnecollectoren op de constructie.

2.5 Constructieve eisen

Voor het ontwerp van de constructie zijn alle gestelde eisen direct- of indirect van belang. Eisen ten aanzien van de veiligheid spelen hierbij een hoofdrol. Verder gelden algemene constructie-eisen ten aanzien van sneeuw, water en windbelasting. De eisen ten aanzien van windbelasting gelden zowel voor windbelasting van binnenuit als van windbelasting van buiten op de constructie.

De volgende uitgangspunten zijn bij het ontwerp van de constructie gehanteerd:

- wegtype ROA 2x 3
- doorsnede, dwarsprofiel
- lengte 1000m
- hor. alignement: 1 lange bocht,
- 1 aftakking binnen overkapping
- vert. alignement: vlak (hellingen < 5%)
- uitgegaan wordt van fundering op palen. fundering op staal geeft geen fundamenteel andere oplossing
- aangehouden ontwerp richtlijnen ROA,
- funderingen/ ondersteuning: betonpalen in raming, afh.situatie: fundering op staal
- bijzondere belastingen: windbelasting op overkapping

Verder gelden de volgende randvoorwaarden:

1. Incidentbeheersing dient te zijn gewaarborgd
2. Het dient een lichte overkapping te zijn

Volgens veiligheidsrichtlijnen deel C van het steunpunt tunnelveiligheid van de bouwdienst van RWS is er sprake van een tunnel als het langst omsloten gedeelte langer is dan 250 m. Voor een dergelijke tunnel geldt dat de brandwerendheid van de hoofddraagconstructie zodanig dient te zijn dat de noodzakelijke veiligheidsfuncties gedurende de fase van zelfredding en hulpverlening gewaarborgd zijn. Voor de fase van zelfredding wordt 15 minuten aangehouden.

Voor de acties van de brandweer wordt normliter 2 uur gereserveerd. Wanneer met de brandweer kan worden afgesproken dat het eerder plaatselijk bezwijken acceptabel is, is dit akkoord. Het open zetten van het dak is ook een goede oplossing voornamelijk voor de afvoer van rook. Er is daarom gezocht naar een constructie die bij brand geen tunnel is. Dit is te verkrijgen door bij brand de overkapping te verwijderen.

2.6 Aandachtspunten voor de kostenraming

Er dient niet alleen rekening te worden gehouden met de kosten voor ontwerp en realisatie. De totale life-cycle kosten zijn van belang (ontwerp, bouw, onderhoud, exploitatie). De scope van het project is met het programma van eisen duidelijk afgebakend. Uitgangssituatie is een vrije bouwruimte (dus geen geluidsschermen en andere obstakels aanwezig).

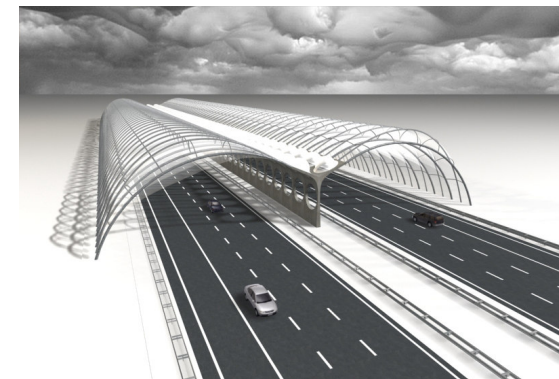
3 BESCHRIJVING VAN HET CONCEPTUEEL ONTWERP

De overkapping van deze snelweg op te vatten als een enorm luchtkanaal, primair gericht op het bij elkaar houden en voortstuwen van verontreinigde lucht om het uiteindelijk te filteren en in gezonde vorm weer de atmosfeer in te stuwen. Luchtkanalen worden normaliter ontworpen door installateurs.

Het wordt een ander verhaal als er ook eens duizenden mensen per dag doorheen trekken. Het interieur van het kanaal krijgt een extra dimensie en wordt voor enkele minuten een bijzondere ervaring, misschien wel een wonderlijke ervaring. Wonderlijk omdat het geen eigen visuele logica heeft. Buitenlandse toeristen vragen zich vaak af wat die schermen langs de Nederlandse snelwegen hebben te betekenen, zich niet realiserend dat er lawaai wordt geproduceerd door de auto waarin zij zelf zitten. Maatregelen ten behoeve van de reductie van fijnstof hebben een vergelijkbaar effect; de directe oorzaak is onzichtbaar maar de gevolgen zullen nadrukkelijk aanwezig zijn.

Het nathouden van het wegdek of het aanplanten van een hoge dichtheid vegetatie zijn maatregelen tegen fijnstof die (vrijwel) onopgemerkt zullen blijven. De overkapping van een kilometer snelweg zal voor niemand onopgemerkt blijven. De kunst is dan ook om hier een ervaring te maken die op zichzelf staat, ongeacht alle vragen die het mogelijk zal oproepen. Een karakteristiek beeld. Maar hoe maak je zo'n beeld over een kilometer lengte, of misschien nog wel langer?

Een constante lijn in het profiel is belangrijk voor een veilig verkeersgedrag. We gebruiken het middenscherf, die de luchtstromen op beide weghelften van elkaar moet scheiden, als een constant element. Van hieruit kan de snelwegoverkapping variëren naar gelang de breedte en vorm van de weg. Het middenscherf vormt de basis, zowel in visueel opzicht als in constructief opzicht, is nadrukkelijk aanwezig en zou eigenlijk niet eens misstaan als er geen overkapping was.



afbeelding 2 Model A: Banaandak



afbeelding 3 Model B: Schuifdak

De feitelijke overkapping, die leunt op dit scherm wordt zo licht en transparant mogelijk uitgevoerd.

3.1 Vergelijking van verschillende modellen

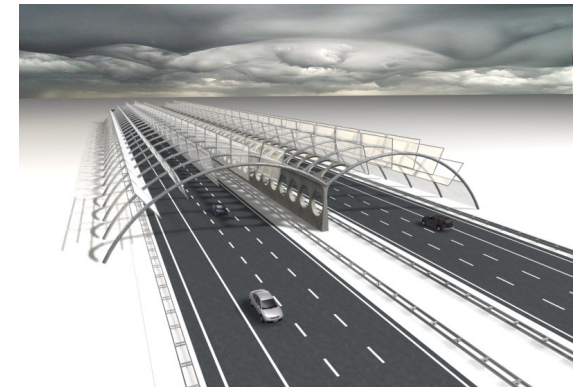
Om de kenmerken van een overkapte snelweg zo goed mogelijk in beeld te krijgen is een vergelijking gemaakt tussen 4 modellen, alle met de volgende uitgangspunten:

- te openen in geval van calamiteit
- continu beeld voor de weggebruiker
- transparant

De vier modellen gaan alle uit van een betonnen middenkern. De geprefabriceerde elementen waaruit deze middenwand is opgebouwd, zijn 4 meter breed en 8 meter hoog. De luchtstromen op beide rijbanen worden door deze betonnen wand van elkaar gescheiden. Grote, ronde gaten in de betonelementen, die zicht geven op de andere rijbaan worden afgesloten met een transparant materiaal.

De vier modellen die we onderscheiden zijn (zie afbeelding 6)

- A. banaandak; een ruimtelijk vakwerk van staal met daarin een opgeblazen kussen die de optimale krachtenlijn van het spant volgt (zie afbeelding 2).
- B. schuifdak; een frame dat dwars op de rijrichting, naar beide zijanten kan worden opengeschoven (zie afbeelding 3).
- C. lamellendak; opgebouwd uit langwerpige, open te draaien panelen met de scharnieren in de rijrichting (zie afbeelding 4).
- D. waterdak; een volledig aaneengesloten watergordijn (zie afbeelding 5).



afbeelding 4 Model C: Lamellendak



afbeelding 5 Model D: Waterdak

De overspanning van de constructie boven de rijbaan, die start bij de betonpanelen, varieert afhankelijk van de wegbreedte, de bocht in de weg en een eventuele op -of afrit.

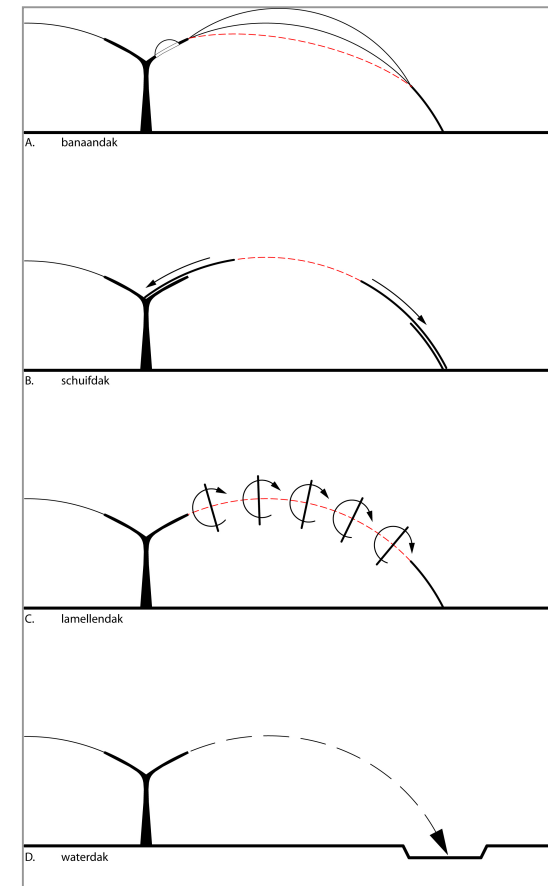
De modellen worden beoordeeld en vergeleken op een aantal praktische kenmerken, zoals de aanpassingsmogelijkheid ter plaatse van wegverbreding, variatie veroorzaakt door bochten, onderhoud, veiligheid, sterkte ten aanzien van winddruk en windzuiging, mede veroorzaakt door weggebruikers.

	A. banaandak	B. schuifdak	C. lamellendak	D. waterdak
Variatie in wegbreedte	++	-	+	++
Bochten	++	-	+	++
Onderhoud	++	+	+	-
Veiligheid	+	++	++	-
Sterkte	++	++	++	++

tabel 1 Kwalitatieve beoordeling van de modellen

Toelichting:

- banaandak: bijzondere aandacht in een eventuele vervolgfase dient uit te gaan naar de wijze waarop het kussen in geval van calamiteit eenzijdig kan worden losgelaten uit het klemprofiel.
- Schuifdak: grote nadeel van dit principe is dat de geleiding van schuivende delen altijd parallel zal moeten lopen. Dat houdt in dat een schuifdak niet toepasbaar is in de bochten.
- Lamellendak; mechanisch te openen delen zijn mogelijk, ook in bochtsegmenten. Bijzondere aandacht is nodig voor de detaillering van de lamelling t.b.v. de sluiting van het dak en de veranderende belasting op het moment van openen.
- Waterdak; heeft grote voordelen (geen constructie, eenvoudig verwijderbaar) en geeft een bijzonder spectaculair beeld maar roept vanwege het experimentele karakter veel vraagtekens op met name met betrekking tot weersinvloeden (wind, vorst) en energiegebruik.



afbeelding 6 dakconstructies van de 4 modellen

Model A en C zijn potentieel het meest interessant zodat beide modellen verder worden onderzocht. In de bijlagen zijn meer aanzichten van de modellen terug te vinden.

3.2 Afdek materiaal

De gewenste transparantie kan bij beide modellen worden verkregen door de toepassing van ETFE kussens of door PMMA-panelen. Hierna zullen de belangrijkste eigenschappen van deze materialen worden toegelicht.

ETFE

Folie gemaakt van Ethyleentetrafluoroethyleen (**ETFE**) is zeer dunne folie die zowel enkellaags als meerlaags (kussens) kan worden toegepast. Voor de situatie in deze studie is de dubbellaags variant het meest geschikt. (zie afbeelding 7 en afbeelding 8). De ruimte tussen de twee lagen wordt op druk gebracht en zo ontstaat een bol oppervlak dat weerstand biedt tegen bewegingen als gevolg van winddruk en windzuiging en daarbij zorgt voor een gunstige afdracht van regenwater en sneeuw. Enkellaags systemen kunnen dit niet en zouden daardoor snel bezwijken.

De eigenschappen van ETFE luchtkussendaken zijn:

- Zeer duurzaam (levensduur >20 jaar); veroudering treedt vrijwel niet op
- Uiterst vuilwerend
- Licht in gewicht, waardoor veel op de onderliggende constructie kan worden bespaard en vaak overspanningen mogelijk zijn die in glas of een ander materiaal niet kunnen worden gerealiseerd
- Vrijwel volledige (architectonische) vrijheid van vorm
- De folie is UV licht doorlatend (96%)
- De folie is transparant
- Om de lichttoetreding te reguleren kan de folie worden bedrukt of in een witte uitvoering worden geleverd (bijvoorbeeld aan de zuidzijde van een dak)
- Niet vlamonderhoudend



afbeelding 7 Voorbeeld dubbellaags ETFE-kussens

De maximale breedte voor de toepassing van deze kussens bedraagt 4 meter in één richting. In de andere richting is de toepassingslengte onbeperkt. De dikte van het kussen dient ten minste 15% van de breedte te zijn. Deze maatverhoudingen komen voort uit de maximale spatkrachten die in het kussen kunnen worden opgenomen.

Het vormverloop van het banaandak is nader uitgewerkt in de bijlagen.

Dit ETFE-folie kussen is ook geschikt voor toepassing in het lamellendak. De lamellen zouden in theorie 4 meter breed kunnen zijn en de overspanning in de langsrichting kan verder geoptimaliseerd worden. De overspanningsboog zal boven de weg wat hoger moeten worden uitgevoerd omdat de lamellen in geopende toestand de vrije ruimte – die op 6 meter is gesteld – gebruiken.



afbeelding 8 Voorbeeld dubbellaags ETFE-kussens

PMMA

Polymethylmetacrylaat laat ongeveer 90% van het licht door en wordt daarom vaak gebruikt ter vervanging van glas, ten opzichte waarvan het een aantal voordelen biedt:

- het is 25 keer sterker
- het is lichter
- het versplintert niet
- het is eenvoudig in allerlei vormen te produceren
- het laat meer licht door dan gewoon glas.

Voor vandalisme gevoelige locaties kan acrylaat in een gegoten slagvaste uitvoering worden toegepast. Deze kwaliteit is niet alleen vandalismebestendig maar is bovendien bestand tegen intensieve bewerkingen. PMMA wordt dan ook vaak toegepast voor het maken van transparante geluidsschermen langs snelwegen (zie afbeelding 9).



afbeelding 9 Voorbeeld PMMA in geluidsscherm

Voor een juiste afweging tussen de toepassing ETFE en PMMA moet naar de technische, kwalitatieve als financiële eigenschappen worden gekeken.

Materiaaleigenschappen	ETFE	PMMA
Gewicht	++	+
Overspanningsafstand	++	-
Transparantie	++	++
Onderhoud	++	-
Vormvrijheid	++	+
Montage (snelheid, vervangbaarheid)	++	-
kosten	-	+

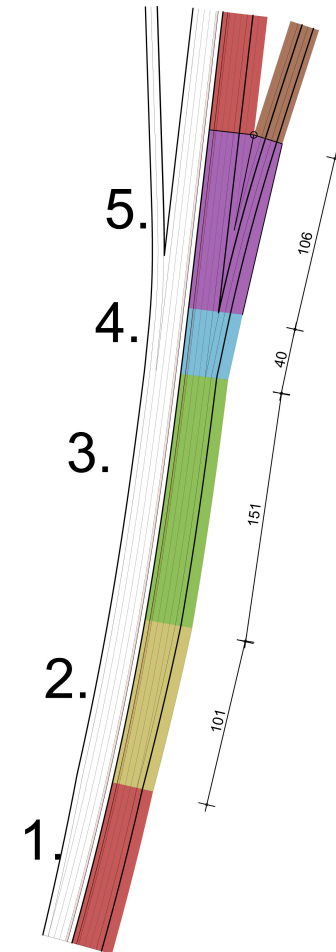
tabel 2 Kwalitatieve beoordeling van de overkappingsmaterialen

Beide materialen zijn licht, bijvoorbeeld t.o.v. glas, maar ETFE is aanzienlijk lichter dan PMMA wat gevolgen heeft voor de hoeveelheid toe te passen constructiemateriaal. Ook de beperkte overspanningsafstand van PMMA zal zorgen voor meer benodigd constructiemateriaal bij toepassing van dit overkappingsmateriaal. Van ETFE is verder bekend dat het vuil niet vasthoudt – reden waarom het in veel industriële gebouwen wordt toegepast – terwijl PMMA vervuilt, zoals te zien op veel plaatsen langs de Nederlandse snelwegen. Vanwege de grote overspanningmogelijkheid van ETFE zal ook de montage ervan aanzienlijk sneller zijn dan die van de relatief kleine PMMA panelen.

Voordeel van PMMA is, dat de kostprijs lager is dan die van ETFE. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de kosten, waarbij ook besparing in constructiemateriaal, montagetijd en onderhoud wordt meegenomen. ETFE is te vandalismegevoelig en daarom niet op het maaiveld toe te passen. De eerste 3 meter zullen dan in ieder geval van PMMA gemaakt worden.

Model A (het banaandak) leent zich het veel beter voor ETFE dan voor PMMA omdat de vorm van de constructie en de vorm van het kussen elkaar ideaal volgen. Bovendien is de techniek van het openen van het dak in geval van calamiteiten volledig afgestemd op ETFE.

Model C (het lamellendak) is zowel realiseerbaar in ETFE als in PMMA. Bij ETFE moet er op gelet worden dat, in geopende toestand, de breedte van de lamellen niet te veel ruimte boven de snelweg in beslag nemen. Vanwege de geringe overspanningsmaat van PMMA zullen de lamellen in dat geval nooit breder worden dan 1 meter. Dat betekent 4 x zoveel lamellen als bij een dak van lamellen met ETFE.



afbeelding 10 Afrit in 5 delen

Geometrie van de snelweg.

Het alignement van een snelweg is een aaneenschakeling van rechtstanden, bogen en overgangsbogen. Juist bij snelwegen is getracht om het aantal rechtstanden te beperken, aangezien het attentieniveau van de weggebruiker op lange rechte stukken vermindert. Daarbij vormen op -en afritten voor een geregelde variatie in het continue snelwegprofiel. Er is onderzocht wat de invloed is van een standaard op - en afrit op de geometrie van de snelwegoverkapping en de daarbij horende bouwsystematiek.

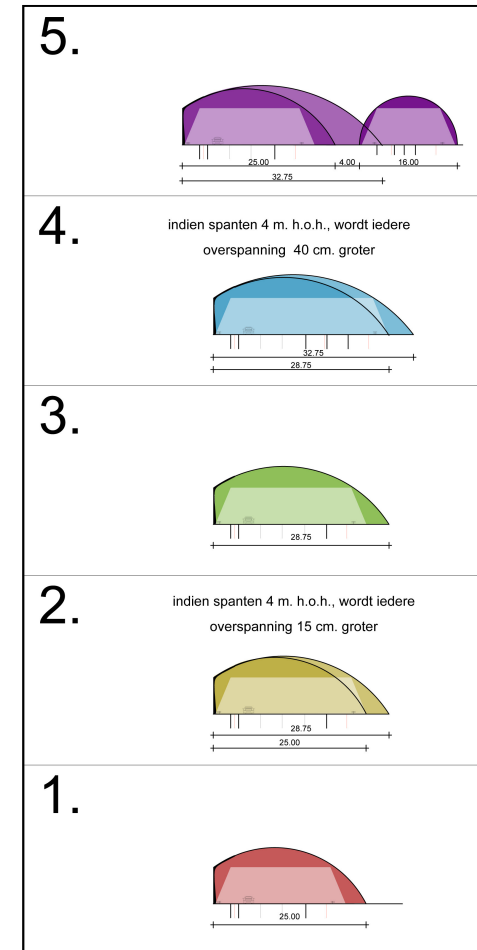
In afbeelding 10 is een bovenaanzicht van een afrit weergegeven. Hierbij is de afrit in 5 delen opgesplitst met ieder een verschillende vorm. In afbeelding 11 zijn dwarsdoorsneden van de 5 verschillende delen weergegeven. De 5 delen kunnen als volgt gekarakteriseerd worden:

1. Rechtstand; standaard dwarsdoorsnede
2. Een verlooptraject; hier wordt een uitvoegstrook toegevoegd.
3. Een rechtstand, breder dan deel 1; hier is de uitvoegstrook aanwezig en constant.
4. Een verlooptraject; hier verbreedt de uitvoegstrook als voorbereiding op de splitsing.
5. Een splitsingstraject; hier vindt de scheiding van de twee weggedelen plaats.

Vervolgens gaan beide gesplitste weggedelen verder in het profiel waar de splitsing mee is geëindigd.

Beide verlooptrajecten hebben een lineair verloop, wat wil zeggen dat de afwijking van ieder spantsegment even groot is. In de doorsneden van de corresponderende trajecten is te zien hoeveel de overspanningsgrootte toeneemt indien spanten op 4 meter van elkaar zijn geplaatst. In model A (banaandak) is deze afwijking probleemloos op te vangen. Het verschil wordt namelijk geheel opgevangen in de vorm van het kussen. In model C (lamellendak) moeten alle lamellen in een tapse vorm worden gemaakt.

Het meest gecompliceerde is deel 5, het splitsingstraject (zie afbeelding 12). Dit deel is op te vatten als een slurfje aan de 'hoofdtunnel' of als een mouw aan een jas. Vanuit het wigvormige deel in de splitsing - de oksel - kan de overspanning ondersteund worden. Deze ondersteuning dient voorzien te worden van aanrijdbescherming.



afbeelding 11 dwarsdoorsneden van de 5 delen

De constructie van de overkapping komt op een splitsing het duidelijkst in beeld en wordt een karakteristiek onderdeel van de totale overkapping, zowel voor de automobilisten die de tunnel verlaten als voor diegenen die arriveren.

In de afgebeelde serie/animatie in de bijlage is gevisualiseerd hoe de splitsing wordt ervaren als automobilist die de uitrit passeert.

In afbeelding 13 is het benaderen van de snelweg vanaf een oprit gevisualiseerd. De overkapping voor een oprit van een snelweg bestaat uit dezelfde 5 onderdelen als een afrit, maar dan in de omgekeerde volgorde.

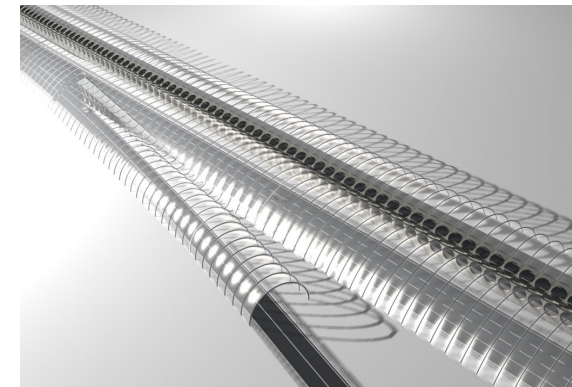
3.3 Constructie

3.3.1 Ontwerpkeuze in relatie tot brandveiligheid

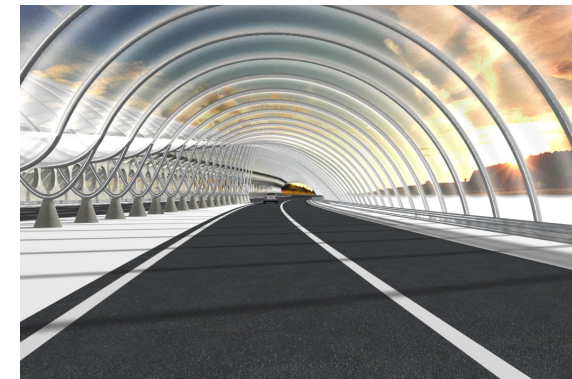
Bij het opstellen van het programma van eisen kwam naar voren dat de eisen ten aanzien van brandveiligheid grote invloed hebben op de keuze van de constructie en de materialen. Bij het ontwerp van de hoofddragconstructie zijn deze eisen dan ook als belangrijkste uitgangspunten genomen.

Voor het verwijderen van de overkapping bij brand zijn er twee mogelijkheden:

1. Bij brand wordt zowel de afdekking als de hoofddragconstructie verwijderd over de breedte van de hoofdrijbanen.
2. Bij brand wordt de afdekking verwijderd over de breedte van hoofdrijbanen. De hoofddragconstructie blijft wel aanwezig.



afbeelding 12 Overkapping afrit in volgelvlucht



afbeelding 13 Benadering oprit snelweg

- Ad.1 Het verwijderen van de hoofddraagconstructie tijdens brand stelt hoge eisen aan de draagconstructie. Een tweetal constructies is ontworpen en de hoofddraagconstructie is globaal gedimensioneerd. Door de grote overspanning valt een dergelijke constructie zwaar uit en deze oplossing is daarom verder buiten beschouwing gelaten.
- Ad.2 Het is verdedigbaar om te kiezen voor optie 2 waarbij de afdekking weg klapt maar de hoofddraagconstructie blijft staan. De situatie is dan vergelijkbaar met de portalen voor de bewegwijzeringsborden.

Bij de keuze voor de verder uit te werken modellen is er voor gekozen om optie 2 uit te werken waarbij ervan uit wordt gegaan dat de afdekking boven de hoofdrijbanen wordt verwijderd en dat de hoofddraagconstructie blijft staan. In deze situatie is het voor de hulpdiensten geen enkel probleem om buiten de directe brandhaard te opereren. Alleen als de brandhaard direct onder een portaal van de hoofddraagconstructie staat is dat betreffende portaal niet brandveilig. Deze situatie verschilt echter niet van die van een portaal met bewegwijzeringsborden.

Binnen optie 2 “afdekking klapt weg; hoofddraagconstructie blijft staan” laten de twee modellen de volgende keuze voor de dakconstructie zien:

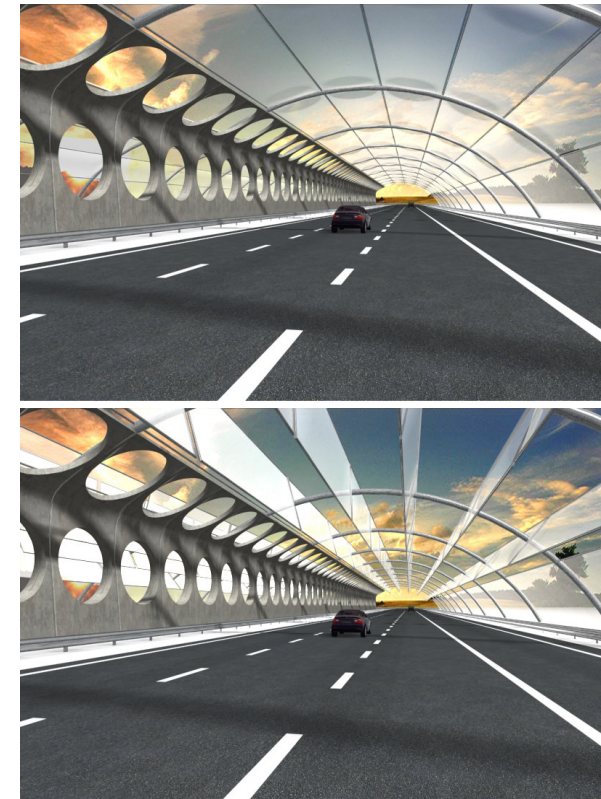
- a) model A bananendak (zie afbeelding 15)
- b) model C lamellendak (zie afbeelding 14)

ad a) kenmerken

- bij brand zakt kussengedeelte uit, dak gaat gedeeltelijk open, brand zeer lokaal open
- klemconstructie kussens ronde gaten betonnen afscheiding laat los (gaten open)
- mechanische ventilatie noodzakelijk

ad b) kenmerken

- bij brand klappen lamellen open
- lamellen kunnen ook voor andere doeleinden geopend/gesloten worden (bv ivm fijnstof)
- mechanische ventilatie noodzakelijk?



afbeelding 14 lamellendak vanaf rijbaan

3.3.2 Dimensionering hoofddraagconstructie

Allereerst worden de effecten van windbelasting op een overkapping toegelicht. Daarna is aangegeven hoe zich dit in het ontwerp vertaald heeft.

Gevoeligheid van de overkapping voor windbelastingen

De grootste krachten die door wind gegenereerd worden zijn als de wind dwars op een object komt aanstromen en de luchtstroming door dat object wordt afgebogen. De windbelastingen zijn te splitsen in gelijkmatige windbelastingen en ongelijkmatige windbelastingen. Het blijkt dat de gelijkmatige windbelastingen leiden tot een gelijkmatige drukkracht (of trekkracht) in de spanten. Deze krachten zijn eenvoudig opneembaar. De ongelijkmatige windbelasting leidt tot buiging in de spanten. Dit soort belastingen zijn in veel sterkere mate maatgevend



afbeelding 15 Banaandak vanaf rijbaan

Windbelasting van binnenuit

Een luchtstroming op de ingang van de tunnel die door de rijdende voertuigen versterkt wordt, betekent een langsstroming van de lucht in de tunnel.

Zo'n langsstroming heeft twee effecten:

- In langsrichting van de tunnel zijn er drukverschillen, anders zou het niet waaien. Dit houdt in dat er lokaal drukverschillen zijn tussen binnen- en buitenzijde van de tunnel. Dit heeft tot gevolg dat de tunnel hetzij wordt "opgeblazen", danwel een naar binnen gerichte druk krijgt te verwerken. Een dergelijke gelijkmatige druk leidt vooral tot trek- respectievelijk drukspanningen in de gebogen spanten en weinig tot buigende momenten. Zuivere druk- en trekspanningen zijn eenvoudig opneembaar voor de spanten. De spanten worden vooral op buigende momenten ontworpen.
- de langsstroming leidt tot langswrijving tussen de langs stromende lucht en de tunnelwand. De krachten die daardoor gegenereerd worden stellen echter niet veel voor.

Een heel ander fenomeen is de luchtstroming rondom een enkele vrachtauto. Een vrachtauto veroorzaakt net als een schip een boeg- en een hekgolf. De boeg golf veroorzaakt een vrij scherpe kortdurende drukverhoging tegen de tunnelwand. Direct achter de vrachtauto is er een drukverlaging.

Door de geringe stijfheid van de banaanvormige foliekussens zouden deze kunnen gaan "schudden" bij elke vrachtauto die langskomt. Zowel het schudden als de mogelijke geluidsresonantie vergen nader onderzoek.

Banaandak

Voor de hoofddraagconstructie van het banaandak is gekozen voor betonnen afscheidingen tussen de rijwegen en stalen buizen als hoofddraagconstructie.

Maatgevende belasting is de windbelasting, waarbij gelijktijdig winddruk (aan de stroomopwaartse zijde van de overkapping) als windzuiging (aan de stroomafwaartse zijde van de overkapping) optreden. Voor beide is een winddrukfactor $C_t = 1,0$ ingevoerd. Voor het bananendak (overkapping met kussens) resulteert dit in buizen voor de hoofddraagconstructie $\varnothing 219 \times 10$ mm.

Bij een verdere uitwerking zullen de windcoëfficiënten nader moeten worden bepaald. Mogelijk zullen daartoe windtunnelproeven moeten worden uitgevoerd, zal literatuuronderzoek moeten worden uitgevoerd of zullen aërodynamische berekeningen moeten worden gemaakt door specialisten uit de luchtvaart- en ruimtevaarttechniek.

Lamellendak

Ook bij de hoofddraagconstructie voor het lamellendak is gekozen voor betonnen afscheidingen tussen de rijwegen en stalen buizen als hoofddraagconstructie. De hart op hart afstand van de hoofddraagconstructie bedraagt hier echter 16 m. Er zijn daardoor zwaardere buizen nodig. Voor de overkapping met de lamellenconstructie resulteert dit in buizen voor de hoofddraagconstructie $\varnothing 619 \times 12,5$ mm.

Bij een verdere uitwerking zullen de windcoëfficiënten nader moeten worden bepaald. Mogelijk zullen daartoe windtunnelproeven moeten worden uitgevoerd, zal literatuuronderzoek moeten worden uitgevoerd of zullen aërodynamische berekeningen moeten worden gemaakt door specialisten uit de Lucht- en ruimtevaarttechniek.

3.3.3 Dimensionering betonnen scheidingswanden en fundatie

De maatgevende doorsnede van de betonnen scheidingswanden ligt op het punt waar de sparingscirkels het grootst zijn. De doorsnede heeft daar nog maar een breedte van 500 mm. Om voldoende sterkte te hebben dient de wanddikte op dat punt 700 mm te bedragen.

Voor de fundatie voldoet een tweepaalspoer (fundering met 2 geschoorde heipalen) in de middenberm en enkelpaalspoeren (fundering met 1 geschoorde heipaal) in de zijbermen. Dit in een stramien van 4 meter.

4 KOSTENRAMING

De kosten zijn probabilistisch doorgerekend voor zowel het alternatief met het banaandak, als het alternatief met het lamellendak. In de raming is uitgegaan van een 2 baans snelweg met 2 x 3 stroken. Het wegprofiel is weergegeven in de bijlagen.

De belangrijkste aannamen voor de kostenraming zijn als volgt:

- de bandbreedtes zijn per onderdeel ingeschat
- de bouwtijd bedraagt ca 9 maanden
- afslagen zijn niet in de ramingen verwerkt
- verkeerstechnische installaties zijn niet in de raming verwerkt.
- eventuele tunneltechnische installaties zijn niet in de raming verwerkt

item	Omschrijving	Alternatief 1 "Banaandak"	Alternatief 2 "lamellendak"
1	Fundering	1,2 mio	1,2 mio
2	Bovenbouw	12,0 mio	20,1 mio
3	Afbouw	23,0 mio	13,7 mio
4	Faseringskosten	1,0 mio	1,2 mio
5	Indirecte kosten (Uitv., AK, WR)	10,8 mio	10,6 mio
6	Totale bouwkosten	48,0 mio	46,7 mio
7	Engineering, Administratie & toezicht	8,1 mio	7,9 mio
8	Overige bijkomende kosten	1,2 mio	1,1 mio
9	Project onvoorzien	11,4 mio	11,1 mio
10	Scheefte	-5,7 mio	-1,6 mio
11	Totale investeringskosten (excl. BTW)	62,9 mio	65,3 mio
12	variatiecoëfficiënt bij 1x de standaardafwijking	15%	15%

tabel 3 Kostenraming op hoofdlijnen (in miljoenen euro's)

In tabel 3 zijn de kosten van de 2 alternatieven op hoofdlijnen weergegeven. Aan het einde van dit hoofdstuk zijn per item van de kostenraming nog een aantal opmerkingen geplaatst. In de bijlage is de volledige kostenraming weergegeven voor zowel het banaandak als het lamellendak.

Belangrijkste verschillen tussen de alternatieven

Bij het vergelijken van de ramingen blijkt dat de totale investeringskosten voor twee varianten nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. Het banaandak is op ca 63 miljoen euro per kilometer geraamd. Het lamellendak komt op ruim 65 miljoen euro per kilometer. De opbouw van de raming verschilt bij beide varianten wel aanzienlijk.

Bij het alternatief met het banaandak, waarbij EFTE gebruikt is, zijn de kosten voor de bovenbouw (de constructie) veel lager, dan bij het lamellendak, waarbij PMMA is toegepast. Bij de afbouw (afdek materiaal) is de verhouding precies andersom. EFTE is met een vierkante meter prijs van 350 euro veel duurder dan PMMA met een vierkante meter prijs van 200 euro.

De veel grotere negatieve scheefte bij het banaandak wordt veroorzaakt door de verwachte korting op de prijzen van het EFTE-materiaal (afbouw). De prijzen van het materiaal liggen nu nog vrij hoog, maar de verwachting is dat bij een veel grotere toepassing van het materiaal de prijs sterk daalt.

De kosten van realisatie van een kilometer bovengrondse tunnel voor een autosnelweg met dergelijke afmetingen liggen tussen de 120 en 150 miljoen euro. De overkapping is met een investering van ca 65 miljoen euro half zo duur. In beide gevallen zijn de tunneltechnische installaties niet meegenomen. Bij een ondergrondse tunnel lopen de investeringskosten op naar 200 a 300 miljoen euro per kilometer.

De volgende opmerkingen behoren bij tabel 3:

Algemene opmerkingen:

Prijzen zijn per kilometer tweebaans autosnelweg en exclusief BTW

De uitgangspunten van de kostenraming zijn terug te vinden in de bijlage

De post “nader te detailleren” is meegenomen als percentage van de directe kosten en in de posten 1 t/m 4 verwerkt.

Opmerkingen per item:

Ad 1)

- grondgesteldheid: west - nederland, heipalen nodig (in raming mee genomen)
- middensteunpunt: in situ beton
- Item fundering betreft alle werkzaamheden beneden maaiveld zoals de heipalen, betonpoeren en het grondwerk

Ad 2)

- prefab betonwerk, 4mallen
- gewichtsbesparing door schuimvulling: optimalisatie in spreiding raming
- tunneltechnische installaties niet in de raming (Een grove schatting van 20 mio per kilometer. Hierbij is er vanuit gegaan dat de installaties ca 1/3 goedkoper zijn dan bij een gewone tunnel. In een nadere fase dient te worden uitgezocht of deze aanname gerechtvaardigd is)
- Verkeerstechnische installaties niet in deze raming

- Item bovenbouw betreft de betonnen prefab T-wand en de staalconstructie. Het kenmerkende verschil tussen beide alternatieven is de mechanische installatie ten behoeve van het lamellendak
- Ad 3)
- “kwantumkorting” op prijs kussens nog mogelijk (door grote oppervlakte van overkapping) in spreiding raming ivm grote prijs verschil tussen PMMA randen, en ETFE kussens
 - Item afbouw betreft de kunststof elementen. Dit zijn de PMMA platen aan de onderkant en de ETFE kussens (inclusief luchtcompressor en bevestigingsonderdelen) aan de bovenzijde
- Ad 4)
- optimalisering detaillering ivm vereenvoudigen aanbrengen/verwijderen: in spreiding raming
 - Item faseringskosten betreft de kosten voor verkeersafzettingen en omleidingen op de snelweg
- Ad 5)
- onvoorzien in raming: normale spreiding (-50% + 50%)
 - normale spreiding (+/- 15%)
 - uitvoering tussen barriers, wegprofiel tijdelijk versmallen tot 2 x 2 ipv 2 X 3
 - Indirecte kosten zijn alle overige kosten van de aannemer (Bouwplaatskosten, Uitvoeringskosten, Algemene kosten, Winst & Risico)
- Ad 6) - Totale bouwkosten is de som van bovenstaande items, dit is de aanneemsom van het project
- Ad 7) - Kosten voor de opdrachtgever met betrekking tot het ontwerp, onderzoeken, projectmanagement, toezicht etc.
- Ad 8) - Kosten voor vergunningen, verzekeringen, leges etc.
- Ad 9) - Kosten die in dit stadium nog niet bekend zijn.
- Ad 10) - De bovenstaande posten zijn deterministische berekend waarbij is uitgegaan van de meest waarschijnlijke waarde. Vervolgens is per post de spreiding rond de hoeveelheid en prijs ingeschat. Hierna is de verwachtingswaarde berekend, rekening houdende met deze onzekerheden. Het verschil tussen deze twee uitkomsten is de scheefte. De negatieve scheefte kan worden verklaard doordat er nog optimalisatie mogelijk is in de hoeveelheden van de prefab T-wand en korting op de prijzen van de kunststof elementen (afbouw)
- Ad 11) - Investeringskosten is de verwachtingswaarde (μ) van de probabilistische berekening
- Ad 12) - Variatiecoëfficiënt is de standaard afwijking gedeeld door de verwachtingswaarde (μ). Dit is de mate van nauwkeurigheid van de raming. Hoe groter de variatiecoëfficiënt hoe minder nauwkeurig de raming is.
- Ad 13) De kosten voor de klemconstructie (die bij brand geopend kan worden) zijn onder ‘nader te detailleren’ meegenomen.

5 RISICO'S

De risico's zijn onderverdeeld in risico's die binnen de scope van het project vallen risico's die buiten de scope van het project vallen.

5.1 In scope

De belangrijkste risico's binnen de scope van het project hebben te maken met de onduidelijke status van een overkapping; is het een tunnel of niet? Indien de overkapping als een tunnel beschouwd wordt zullen de investeringskosten sterk toenemen. In het ontwerp is zo veel mogelijk gestuurd op het verkrijgen van een aparte status van de overkapping, waarbij de veiligheidseisen veel minder streng zullen dan bij tunnels.

- brandwerendheid en brand/rookgedrag van de materialen dient nader onderzocht te worden
- verkeerstechnische / tunneltechnische installaties zijn niet in de ramingen opgenomen
- acceptatie van aftakkingen in overkapte deel. In tunnels zijn aftakkingen niet toegestaan, omdat dit aanleiding geeft tot meer ongevallen; er is een grotere kans op brand en er is een groter risico in een gesloten omgeving vanwege rook. Als deze problematiek kan worden opgelost is er geen bezwaar tegen een aftakking

5.2 Out of scope

- acceptatie hulpverleningsdiensten
- acceptatie welstand
- stroboscopische effecten (gevaar epilepsie) vergt nader onderzoek
- geluids effecten/resonantie van de overkapping: vergt nader onderzoek
- problematiek en voorzieningen voor fijnstof zijn niet meegenomen in de studie

6 CONCLUSIES

Het conceptueel ontwerp toont aan dat een realistische oplossing voor het overkappen van wegen mogelijk is. De transparante ontwerpen hebben een duurzame uitstraling. Met behulp van lichte afdekmaterialen kan een lichtere constructie dan bij een tunnel verkregen worden. Het ontwerp is zodanig, dat de windbelasting op de constructie maatgevend is, en niet het gewicht van de constructie. De keuze van het materiaal kan men af laten hangen van de ontwikkelingen ten aanzien van de kosten van de beide afdekmaterialen. EFTE is een zeer interessant alternatief voor de al breder toegepaste PMMA-panelen. De overspanningen kunnen met dit materiaal breder worden en daardoor de constructie lichter. Dit heeft ook een positief effect op de transparantie van het ontwerp. Nadeel van EFTE is, dat de prijs van het materiaal op dit moment 75% hoger ligt dan die van PMMA. De verwachting is dat dit bij grootschalig gebruik significant kan dalen.

Verder is aangetoond dat het overkappen van de op- en afritten zeer goed mogelijk is. Hierdoor is inpassing in een stedelijke omgeving goed te realiseren.

De kosten voor een overkapping zijn met ca 65 miljoen euro per kilometer grofweg de helft van de kosten voor een tunnel op maaiveld. Nader onderzoek naar de veiligheid is hiervoor essentieel. In paragraaf 6.1.1. wordt nader ingegaan op het aandachtspunt veiligheid, dat in dit ontwerp een zeer belangrijke rol speelt.

6.1 Aanbevelingen

De hoofddragconstructie zou nog verder worden geoptimaliseerd kunnen worden door de buisconstructie te vervangen door een ruimtelijke vakwerkconstructie. Hierdoor vindt er materiaalbesparing plaats.

Verder wordt aanbevolen om in de volgende fase dieper in te gaan op een aantal veiligheidsaspecten. In deze fase is naar voren gekomen dat veiligheid naast de kosten het meest kritische aspect bij het ontwerp is. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de aandachtspunten op het gebied van veiligheid die in de volgende fasen verder uitgewerkt dienen te worden.

6.1.1 Aandachtspunt veiligheid

Deze paragraaf bestaat uit aanduiding van aandachtspunten, die bij verdere uitwerking van belang zijn. De genoemde punten zijn niet limitatief, maar zijn gebaseerd op de volgende eisen en richtlijnen:

- ROA
- Leidraad Tunnelveiligheidsplan voor wegtunnels, oct 2005
- Veiligheids Richtlijnen Deel C versie 1.0, jan 2004
- Het verlichten van tunnels en onderdoorgangen - 2003
- Ventilatie van verkeerstunnels, 1991

In het voorliggende conceptueel ontwerp is de mate van detaillering nog globaal, daarom is aanduiding van aandachtspunten (en verwijzing naar de bestaande regelgeving/richtlijnen) in deze fase gerechtvaardigd. Heronder zijn de belangrijkste aandachtspunten op het gebied van veiligheid gesorteerd op veiligheidsaspecten die te maken hebben met de constructie, de verkeersveiligheid en de interne veiligheid van de overkapping

Constructieve veiligheid

- bezwijkmechanisme en gedrag
- verval de brandwerendheidseis bij alternatief 1, vanwege het zeer snel open branden van de constructie in het geval van brand? En hoe is dit bij alternatief 2, waarbij de overkapping wordt opengezet door de lamellen open te draaien? Zie ook 5.1(risico's in de scope)
- in geval van rookontwikkeling bij alternatief 1, bij felle brand: is het wegbranden van een deel van de kussens voldoende voor het ontsnappen van de rook? Vrijkomen van gevaarlijke gassen bij wegbranden van EFTE? Voor een matige brand, waarbij de kussens niet wegsmelten is rookafzuiging nodig
- Hoe is de brandwerendheid bij alternatief 2? Wat is de faalkans van het niet werken van het mechanisme dat de lamellen open zet?
- Is de rookontwikkeling bij alternatief 2 bij felle brand analoog aan die bij alternatief 1? Kan er bij een matige brand:met een lichter type rookafzuiging volstaan worden dan bij alternatief 2?

Verkeersveiligheid

- infosystemen vóór/ in overkapping
- eenduidigheid van profiel in overkapte deel
- zicht onder de overkapping
- aftakkingen binnen nieuwe tunnels zijn niet toegestaan. Hoe verstaat zich dat tot de overkapping?

Interne veiligheid

- brandwerendheid
- maatregelen rook/hitte bestrijding: mechanische ventilatie, detectie
- zelfredzaamheid, aanwezigheid van nooduitgangen. Dienen nooduitgangen aanwezig te zijn om de 400 m (eis geluidsschermen) of 150 m (eis tunnels)?
- hulpverlening: hulpposten etc
- riolen tbv opvang bluswater en ev bijzondere vloeistoffen,
- kabels/leidingen: brandwerend en halogeenarm
- alternatieve stroomverlening (redundantie)
- communicatiemogelijkheden/systemen

7 COLOFON

Opdrachtgever	: Dienst Weg- en Waterbouw Rijkswaterstaat
Uitgevoerd door	: DHV in samenwerking met NIO architecten
Project	: Lichte overkapping voor autosnelwegen
Dossier	: X4111.01.001
Omvang rapport	: 28 pagina's
Auteur	: B. de Keizer
Bijdrage	: M. Nio, W. Snijders, H. van Stralen, G. Filé, J. Almekinders
Projectleider	: B. de Keizer
Projectmanager	: M. den Braber
Datum	: 1 mei 2006
Naam/Paraaf	: B. de Keizer

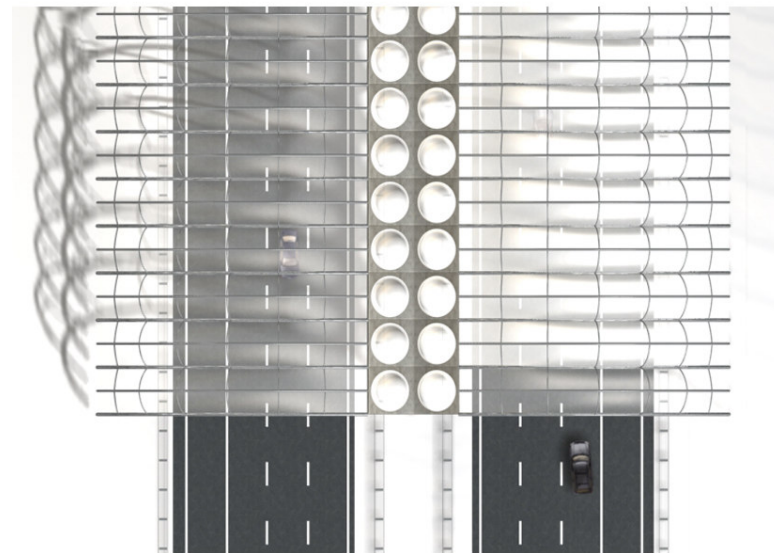


BIJLAGE 1 Fysische eigenschappen overkappingsmaterialen

Fysische eigenschappen EFTE		Testmethode
Smeltpunt	275 °C ±10	DSC 16K/min
Rek bij breuk 23 °C	150% - 200%	
Rek bij breuk 160 °C	150% - 200%	
Doorscheurweerstand volgens Graves, horizontaal	180N/mm	DIN 53 515, 23 °C
Doorscheurweerstand volgens Graves, verticaal	190N/mm	
Verwerking	Geen verandering in de scheikundige waarden	
Lichtdoorlatendheid, lucht	100%	
Lichtdoorlatendheid, folie	95%	
Ontvlambaarheid	B1, zeer moeilijk ontvlambaar	DIN 4102
Oppervlakte kwaliteit	Zelfreinigend	

Physische eigenschappen PMMA	Eenheid	XT	Gegoten	Slagvast
Soortelijke massa	g/cm ³	1,19	1,19	1,15
Buigsterkte	MN/m ²	107,9	17,7	50
Rek bij breuk	%	4,5	5,5	35
E-modulus	MN/m ²	3300	3300	
Kerfslagsterkte	kJ/m ²	2	2	ca. 20
Slagsterkte	kJ/m ²	10	12	47,5
Treksterkte	MN/m ²	72	80	40
Wrijvingscoëfficiënt t.o.v. ongesmeerd staal	.	0,54	0,54	
Wateropname 20°C, RV 65%	%	0,24	0,24	0,3
Smeltemperatuur	°C	168	180	165
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	m/m °C	70.10-6	70.10-6	70.10-4
Max. toelaatbare temperatuur, onbelast	°C	70	70	82
Min. toelaatbare temperatuur, onbelast	°C	-40	-40	-40

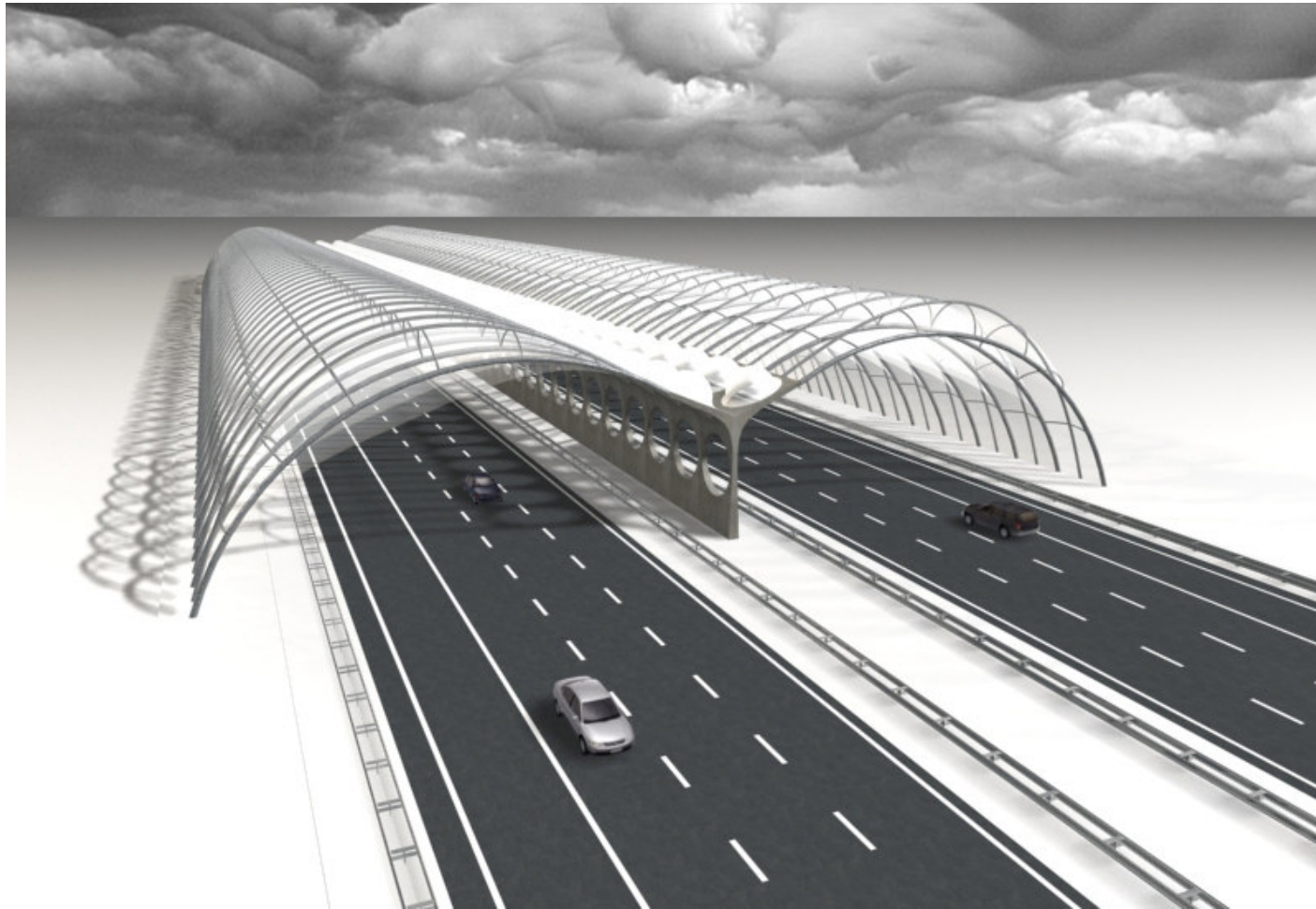
BIJLAGE 2 Visualisaties ontwerp Banaandak

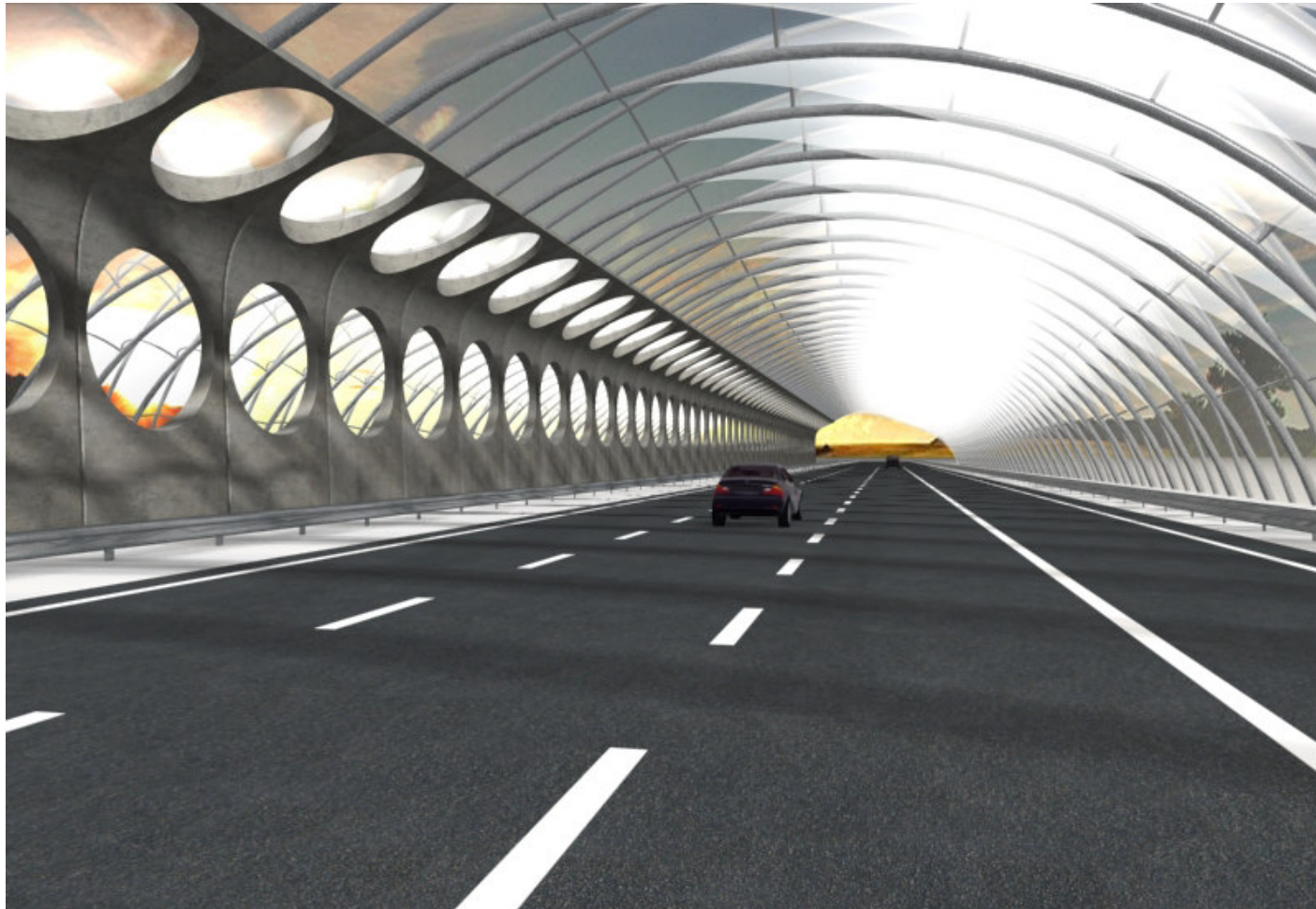


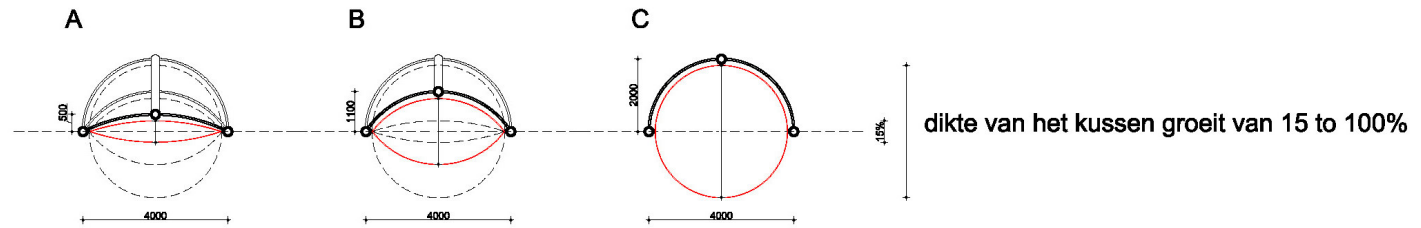
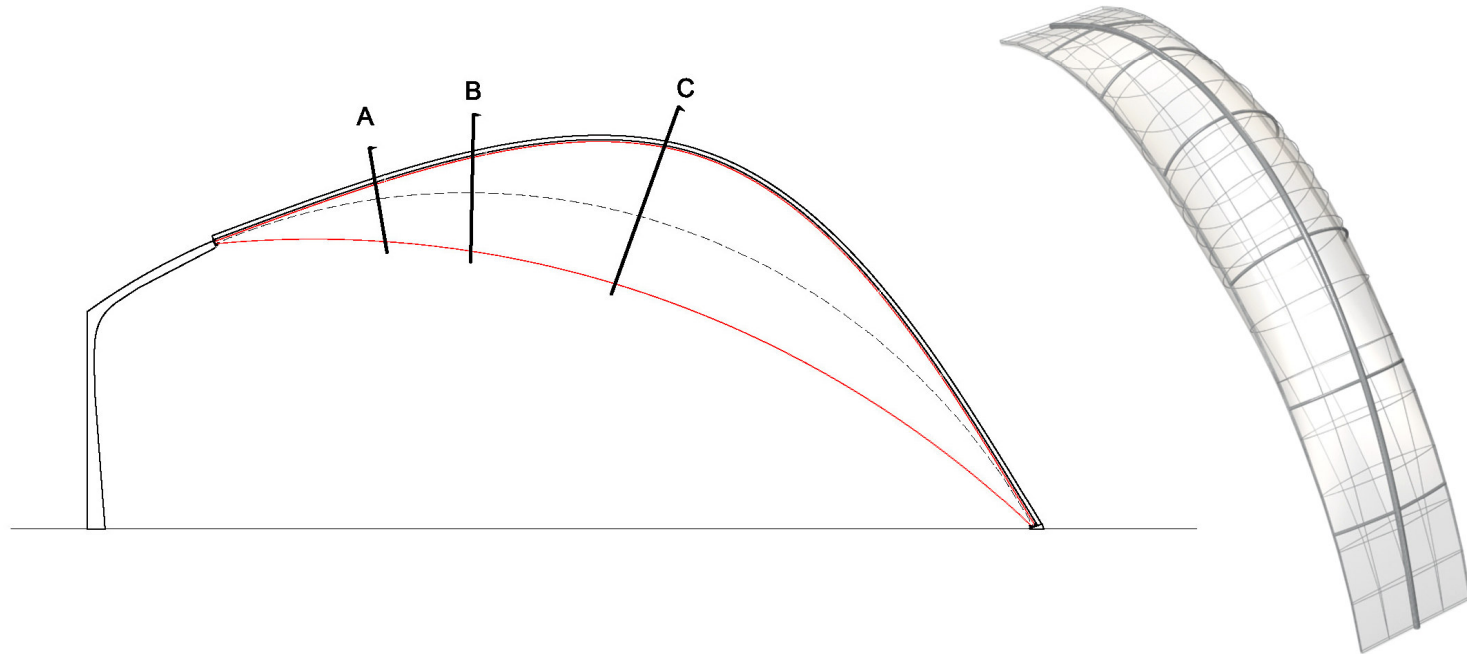
bovenaanzicht



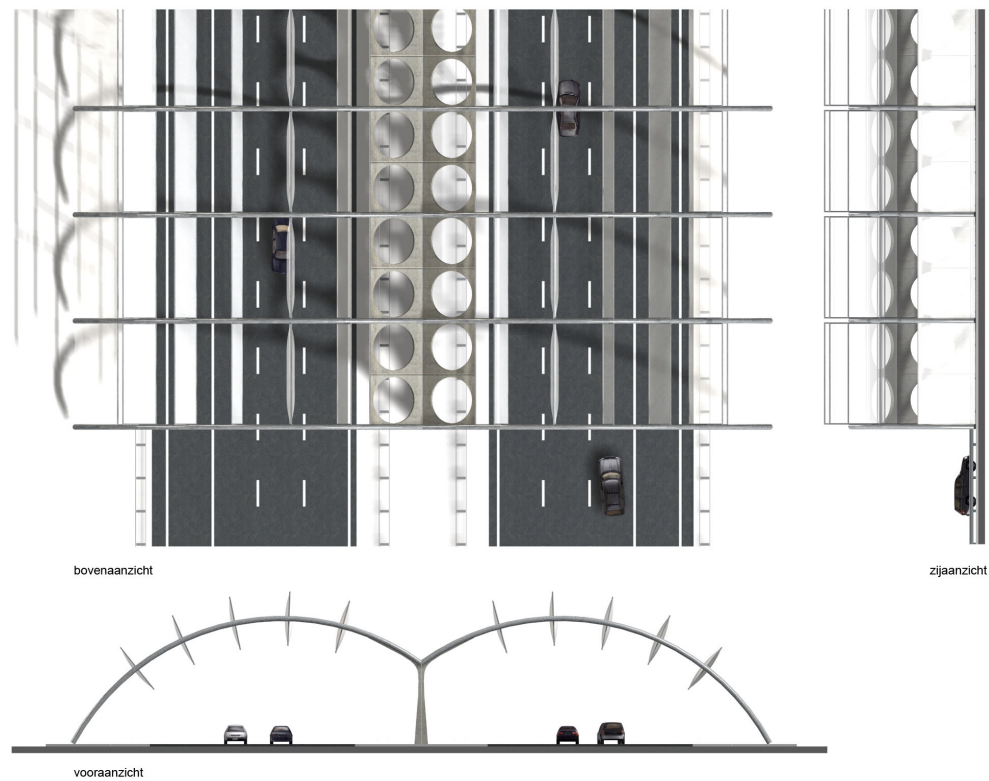
zijaanzicht

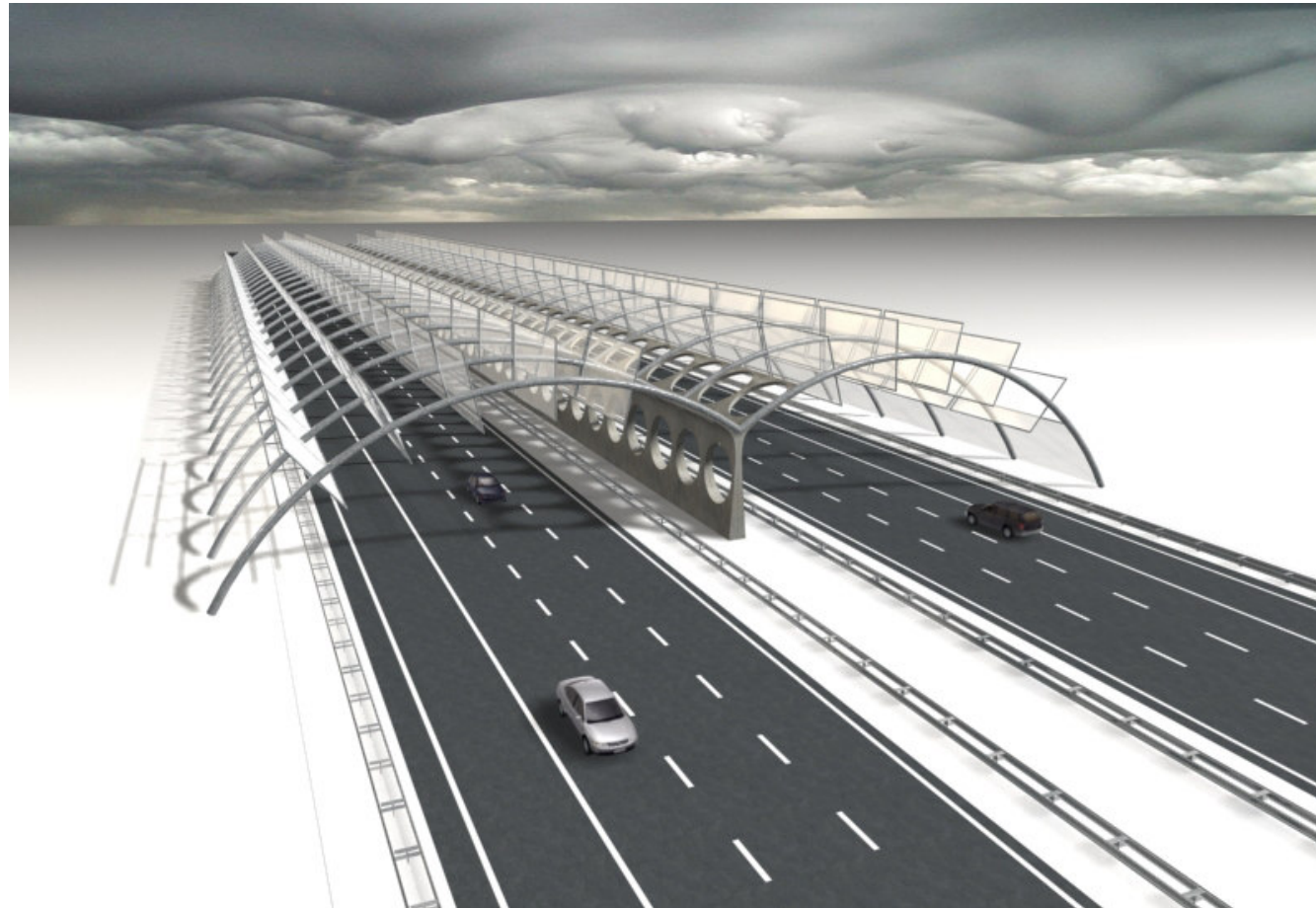






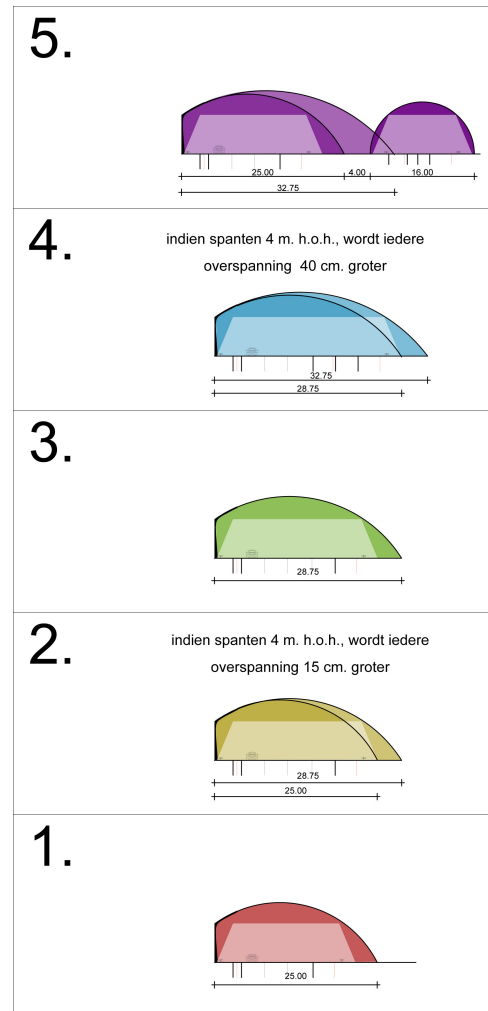
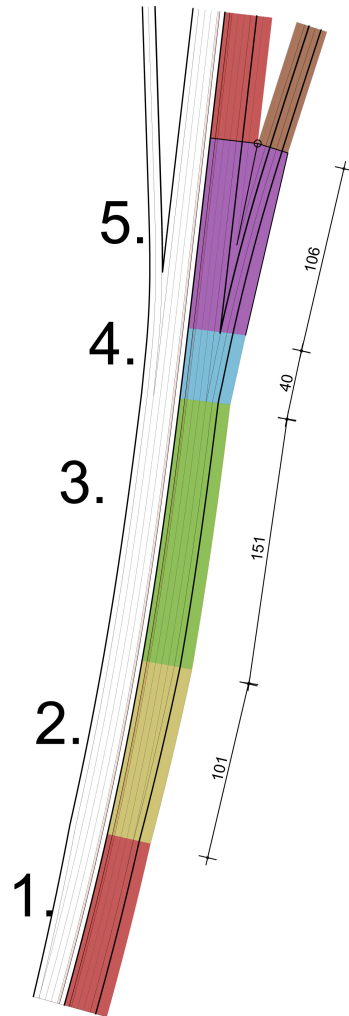
BIJLAGE 3 **Visualisaties ontwerp Lamellendak**

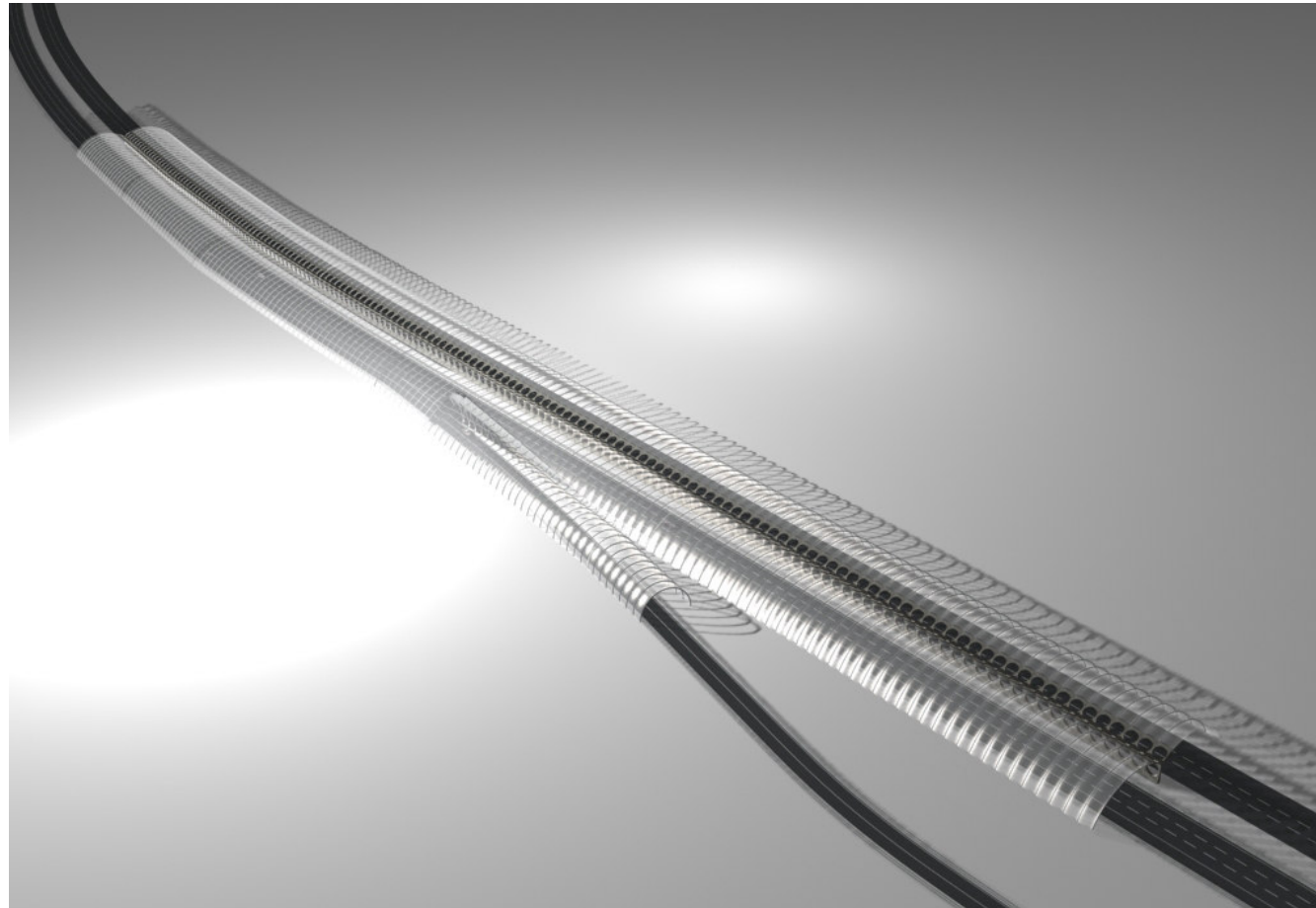


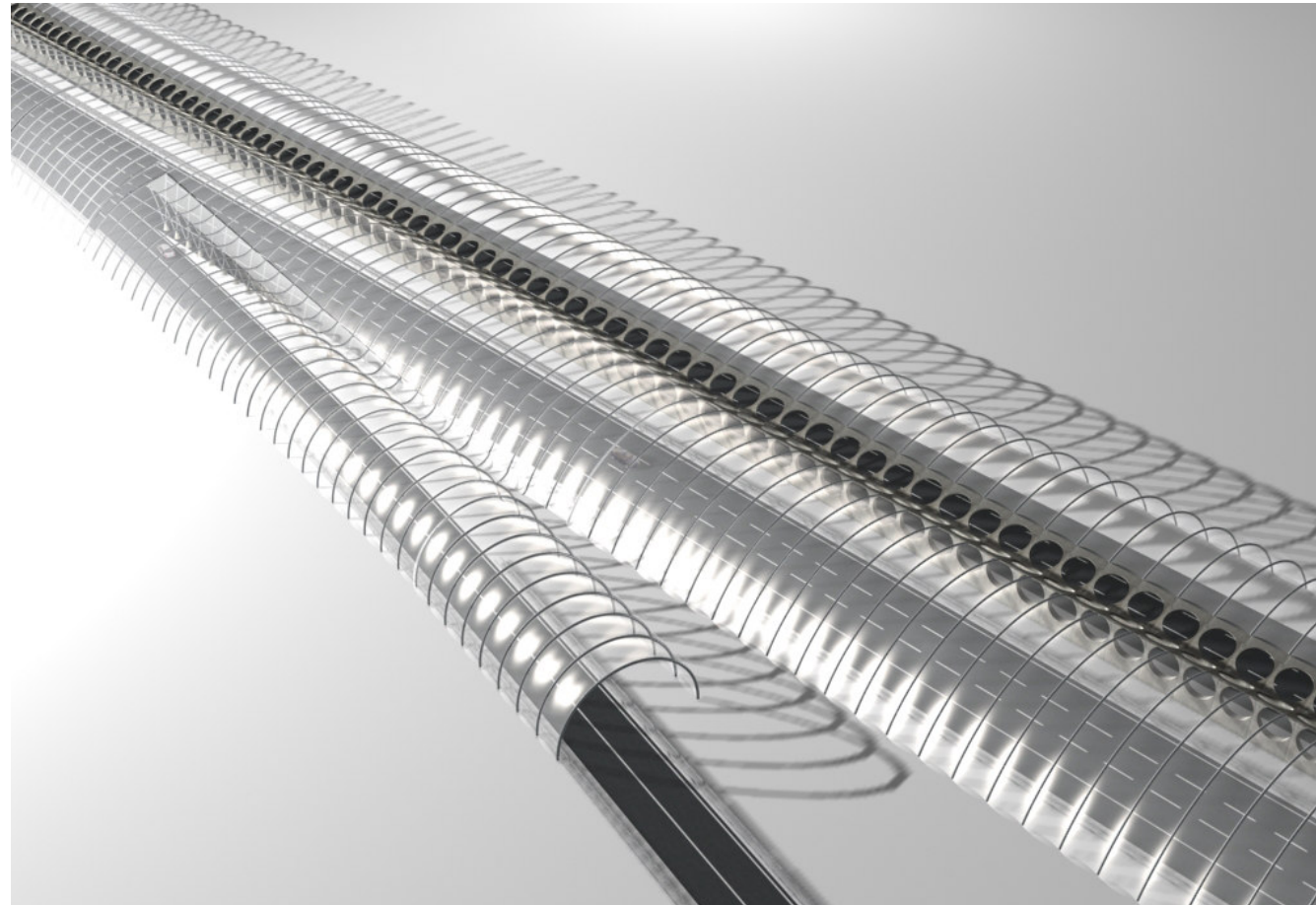




BIJLAGE 4 Visualisaties op- en afritten



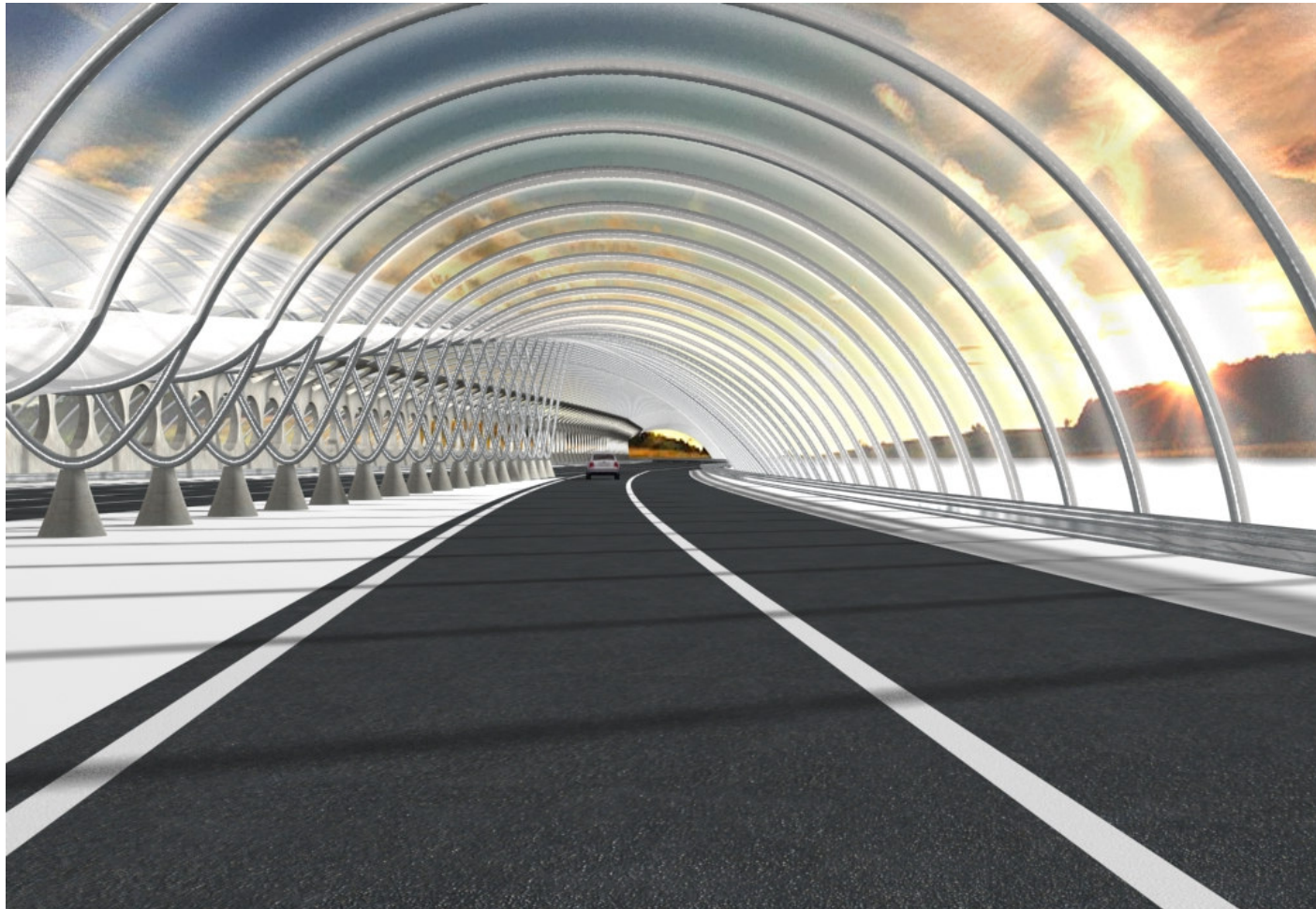












BIJLAGE 5 Kostenraming alternatief 1: Banaandak

BIJLAGE 6 Kostenraming alternatief 2: Lamellendak