

BRANDWERENDE BEKLEDING STATIONSPLEINTUNNEL

Uitvoeringsvarianten - Schetsontwerp en kostenraming

Gemeente Leiden

4 MAART 2021

Contactpersoon

LEANDER NOORDIJK
Senior Adviseur

T +31 6 11 79 04 29
E leander.noordijk@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
2	INFORMATIE STATIONSPLEINTUNNEL	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Geometrie	6
2.3	Betonconstructie	6
2.4	Afwerking	7
2.5	Aanwezige TTI	7
3	AANBRENGEN BRANDWERENDE BEKLEDING	18
3.1	Inleiding	18
3.2	Doelstelling	18
3.3	Ontwerpuitsgangspunten brandwerende bekleding	18
3.4	Systeemopbouw brandwerende bekleding	21
3.5	Afwerkingsopties brandwerende bekleding	25
3.6	Bijzondere situaties	29
3.7	Raakvlakken en combinatiekansen	30
3.8	Trade-off matrix brandwerende bekleding en afwerking	39
4	KOSTENRAMING	43
4.1	Inleiding	43
4.2	Uitsgangspunten uitvoering	43
4.3	Ramingsuitsgangspunten	44
4.4	Ramingsresultaten	45
4.5	Conclusie	47
5	SAMENVATTING	48

6 VERWIJZINGEN	50
BIJLAGEN	
BIJLAGE A RAMINGSUITGANGSPUNTEN KOSTENRAMING	51
BIJLAGE B KOSTENRAMING	55
COLOFON	56

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De Stationspleintunnel in Leiden bevindt zich onder het busstation op het Stationsplein bij het Station Leiden Centraal. Naar aanleiding van een bureaustudie naar de brandwerendheid van de Stationspleintunnel [1], zijn door Gemeente Leiden hitteproeven georganiseerd [2] [3] om duidelijkheid te krijgen over de brandwerendheid van de Stationspleintunnel.

Uit de resultaten van de proeven [4] volgt dat indien er sprake is van de normbelasting bij brand zoals gedefinieerd in het Bouwbesluit, vroegtijdig bezwijken (binnen 30 minuten) ter plaatse van de brand kan optreden bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme. Uit de uitgevoerde hitteproeven zijn tevens ontwerpcriteria voor brandwerende bekleding vastgesteld waarmee een brandwerend systeem kan worden ontworpen zodanig dat een brandwerendheid van 60 minuten wordt gerealiseerd bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme¹.

Naar aanleiding hiervan worden in deze rapportage mogelijke uitvoeringsvarianten van brandwerende bekleding geanalyseerd.

1.2 Doel

Deze rapportage is gericht op het opstellen van een schetsontwerp en raming voor mogelijke uitvoeringsvarianten van brandwerende bekleding in de Stationspleintunnel om een brandwerendheid van 60 minuten te realiseren bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme, uitgaande van de ontwerpcriteria zoals vastgesteld in de brandproeven. Aan de hand van de opgestelde trade-off-matrix kunnen verschillende uitvoeringsvarianten door de opdrachtgever worden afgewogen.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat informatie over de Stationspleintunnel. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de ontwerputgangspunten voor de aan te brengen brandwerende bekleding, verschillende uitvoeringsvarianten en afwerking voor brandwerende bekleding, raakvlakken met de bestaande installaties en inpassing op hoofdlijnen. De kostenraming voor verschillende varianten van de brandwerende bekleding en afwerking ervan is opgenomen in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat de samenvatting.

¹ Merk op dat de eis voor bestaande bouw 30 minuten is en voor nieuwbouw 60 minuten. Echter, zodra maatregelen worden genomen is het enerzijds zo dat de nieuwbouweis van toepassing wordt (of van toepassing kan worden verklaard) en anderzijds zo dat de extra investering beperkt is als je toch gaat bouwen.

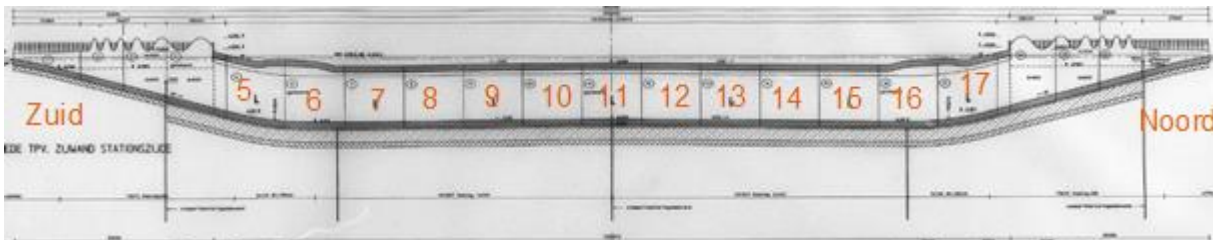
2 INFORMATIE STATIONSPLEINTUNNEL

2.1 Inleiding

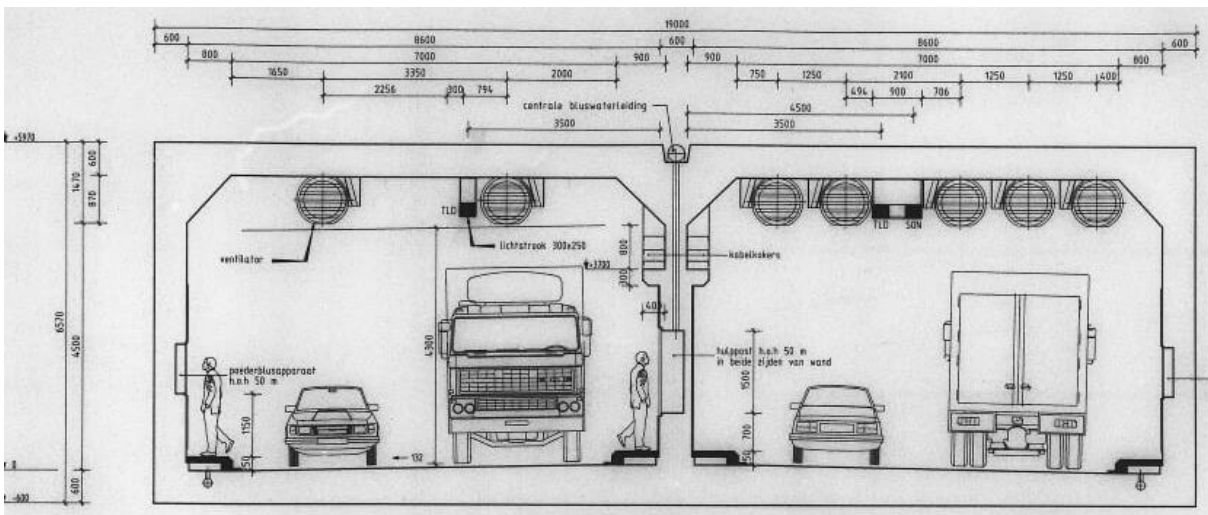
Informatie over de Stationspleintunnel is deels overgenomen uit de eerdere rapportage [1].

2.2 Geometrie

De Stationspleintunnel is een landtunnel in Leiden, gebouwd volgens de openbouwputmethode. De lengte van het gesloten deel is 336 m en de totale lengte is 503 m. De tunnel bestaat uit 13 moten, elk met een lengte van 25 m. De tunnel voert de Schipholweg onder het stationsplein (busstation) door dat op het maaiveld ligt. Een langsdoorsnede van de tunnel is weergegeven in Figuur 1 en de dwarsdoorsnede in Figuur 2. De bouw van de tunnel is gestart in 1994 en de tunnel is opengesteld in 1997.



Figuur 1: Langsdoorsnede Stationspleintunnel met 13 moten in het omsloten deel met mootnummering tijdens de bouw.

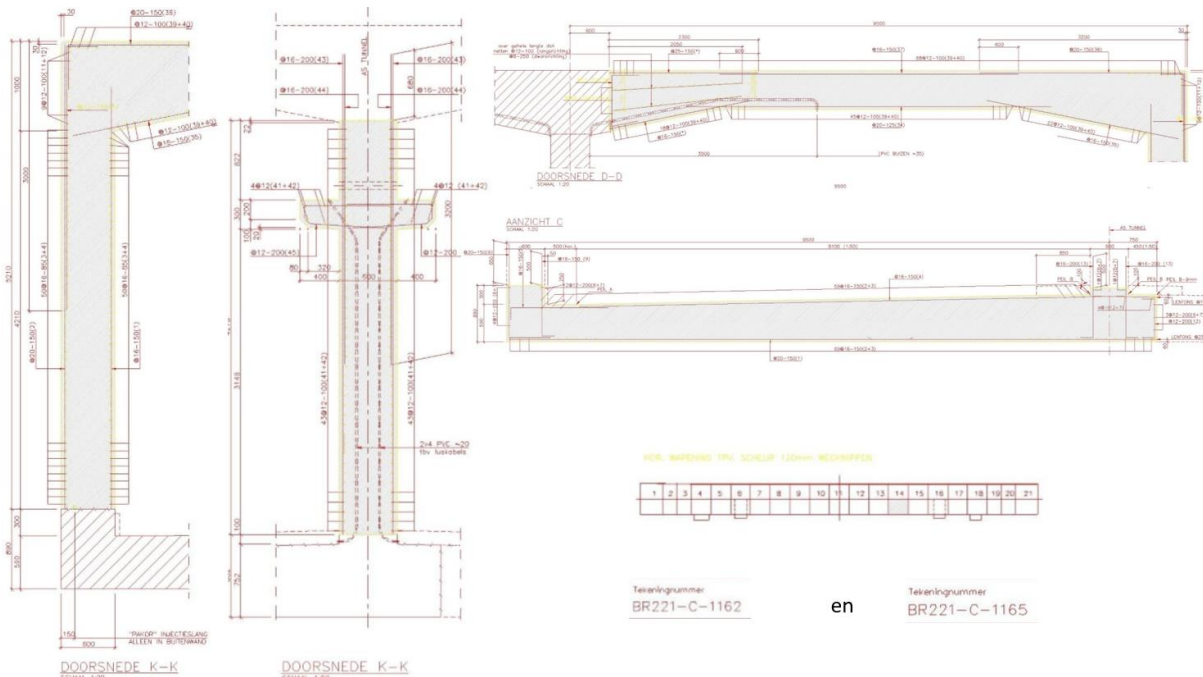


Figuur 2: Dwarsdoorsnede Stationspleintunnel.

2.3 Betonconstructie

De betonconstructie bestaat uit beton met sterkteklasse B35 en FeB 500 HWL en FeB 220 HW wapeningsstaal. De dekking op de eerste wapeningslaag bedraagt 50 mm, zoals vermeld in tekening BR221-C-1133. Merk op dat van de beschikbare tekeningen niet duidelijk is wat de status hiervan is en uit welke fase deze informatie afkomstig is (bestek of as-built) en of deze is geupdate aan de hand van . Karakteristieke afmetingen en wapening (zie ook Figuur 3):

- De vloer heeft een dikte van 590 mm en de wapening bestaat uit dwarswapening Ø16-150 (1e laag) en langswapening Ø16-150 (2e laag) vanuit de tunnel gezien.
- De middenwanden hebben een dikte van 600 mm en de wapening bestaat uit verticale wapening Ø16-200 (1e laag) en langswapening Ø12-100 (2e laag).
- De buitenwanden hebben een dikte van 600 mm en de wapening bestaat uit verticale wapening Ø16-150 (1e laag) en langswapening Ø16-85 (2e laag) vanuit de tunnel gezien.
- Het dak/dek heeft een dikte van 600 mm. De veldwapening bestaat uit dwarswapening Ø20-125 (1e laag) en langswapening Ø12-100 (2e laag) vanuit de tunnel gezien.



Figuur 3 Wapening en afmetingen van constructieonderdelen in moot 14.

2.4 Afwerking

In Figuur 4 is een foto weergegeven van de afwerking van de Stationspleintunnel. Het tunneldak bestaat uit onbeschermd beton, de wanden zijn voorzien van tegels.



Figuur 4 Afwerking binnenzijde Stationspleintunnel: het tunneldak bestaat uit onbeschermd beton, de wandafwerking is uitgevoerd met tegels.

2.5 Aanwezige TTI

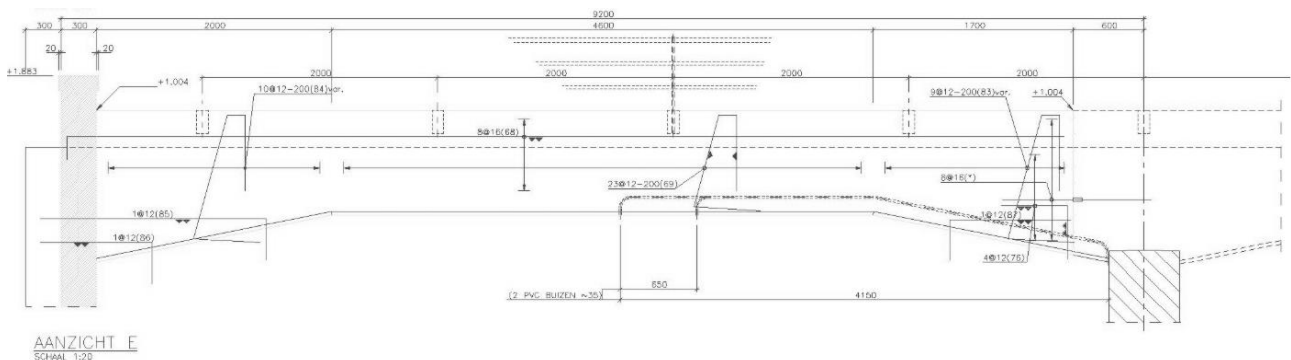
In deze paragraaf is een inventarisatie opgenomen van de aanwezige TTI ter plaatse van de wanden en het dak, gebaseerd op een visuele inspectie. Dit is verduidelijkt met afbeeldingen en tekeningen van de huidige situatie. Merk op dat de inventarisatie fysiek plaats heeft gevonden in de oostbuis. De situatie in de westbuis kan afwijken. Er is geen bureaustudie van de as-built informatie uitgevoerd.

2.5.1 Verlichting

In de tunnel bevindt zich een doorgaande lichtlijn en ingangsverlichting (enkelzijdig uitgevoerd: alleen gezien in de gebruikelijke rijrichting), zie ook Figuur 5. De bekabeling naar de armaturen bevindt zich in ingestorte mantelbuizen vanaf de kabelgoot nabij de middenwand, zie ook Figuur 6.



Figuur 5 Doorgaande lichtlijn en ingangsverlichting Stationspleintunnel nabij ingangsportaal (links) en doorgaande lichtlijn (rechts).



Figuur 6 Mantelbuizen naar verlichtingsarmaturen vanaf de kabelkoker ter plaatse van de middenwand (tekening BR221-C-1116).

2.5.2 Bekabeling op tunneldak

In beide tunnelbuizen bevinden zich over de gehele lengte kabels (twee per buis), een LIST sensorkabel (boven de rechter rijstrook) en een niet in gebruik zijnde antennekabel. De kabels bevinden zich in de dwarsdoorsnede ter plaatse van de overgang van het vlakke deel van het tunneldak naar de voutes (afgeschuinde delen), zie ook Figuur 7.



Figuur 7 Kabels in de tunnelbuis in lengterichting.

2.5.3 Tunnelventilatie

In iedere buis zijn twee clusters ventilatoren aanwezig (in de moten 6 en 16). In de rijrichting gezien bestaan deze clusters voor de oostbuis uit respectievelijk 5 (moot 6) en 2 (moot 16) ventilatoren. Een impressie is weergegeven in Figuur 8. In Figuur 9 is zichtbaar dat de bekabeling zich tussen ventilator en kabelgoot in ingestorte mantelbuizen door het beton bevindt. De voeding van de ventilatoren is (inschatting op basis van de foto's) uitgevoerd met functiebehoud.



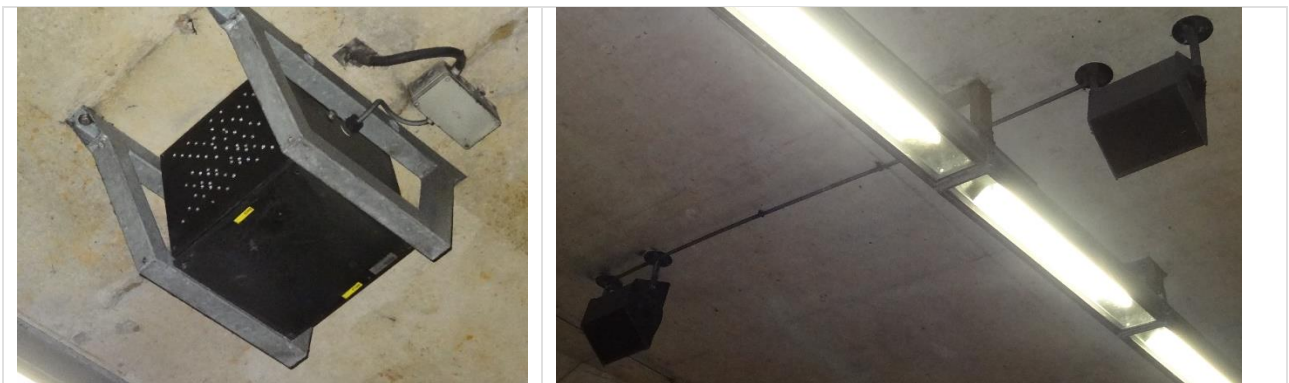
Figuur 8 Ventilatoren in Stationspleintunnel.



Figuur 9 De bekabeling van de ventilatoren wordt via mantelbuizen naar de middenwand gebracht.

2.5.4 Signaalgevers

In de tunnel bevinden zich aan het tunneldak 5 sets signaalgevers, zie bijvoorbeeld Figuur 10. Voor de bekabeling naar de signaalgevers is gebruik gemaakt van ingestorte mantelbuizen in de betonconstructie direct ter plaatse van de signaalgevers of ingestorte mantelbuizen ter plaatse van de doorgaande lichtlijn, waarbij de bekabeling tussen de signaalgevers en de lichtlijn als opbouwbekabeling is uitgevoerd. Onbekend is of functiebehoud bekabeling is toegepast.



Figuur 10 Signaalgevers aan dak Stationspleintunnel met bekabeling via ingestorte mantelbuizen bij signaalgever (links) en opbouwbekabeling tussen signaalgevers en lichtlijn (rechts).

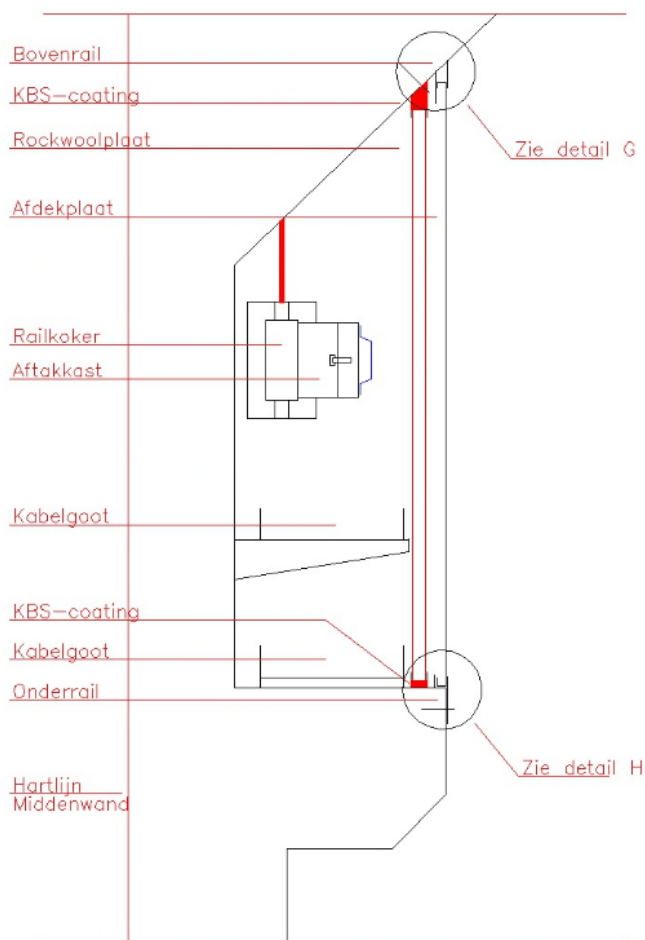
2.5.5 Kabelwegen

2.5.5.1 Kabelkanaal middenwand

Ter plaatse van de middenwand bevindt zich in beide tunnelbuizen over de gehele lengte een kabelkanaal dat aan de onderzijde wordt gevormd door een aan de betonnen middenwand gestorte doorgaande console. Op de betonnen doorgaande console zijn stalen platen (met daarachter een steenwolplaat) aangebracht, zie Figuur 11 en Figuur 12. De afdekplaten zijn uitneembaar. De brandwerendheid van het kabelkanaal is niet bekend.



Figuur 11 Aanzicht kabelkanaal in lengterichting ter plaatse van middenwand.



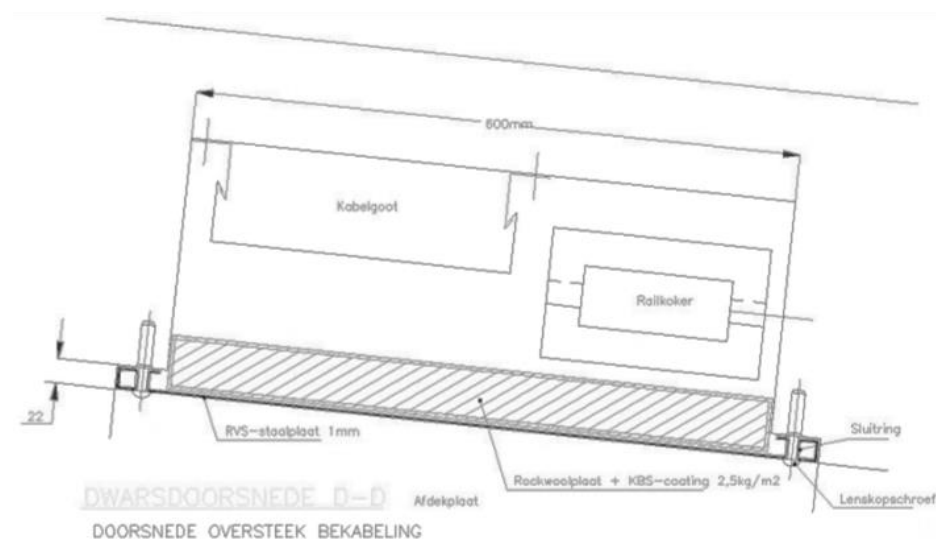
Figuur 12 Dwarsdoorsnede van kabelkanaal ter plaatse van middenwand (tekening 221-161-02). Merk op dat deze doorsnede afwijkt van Figuur 3, onbekend is welke doorsnede is toegepast.

2.5.5.2 Kabelgoten in dak

In de moten 5 en 17 direct bij de portalen kruisen twee kabelgoten het tunneldak in dwarsrichting. Deze kabelgoot sluit ter plaatse van de middenwand aan op de kabelgoot langs de wand in lengterichting. Zie ook Figuur 13 en Figuur 14.



Figuur 13 Kabelgoot die over het tunneldak kruist in moten 5 en 17 direct bij het portaal in de oostbuis.



Figuur 14 Doorsnede van de kabelgoot die over het tunneldak kruist in moten 5 en 17 direct bij het portaal (tekening 221-161-02).

2.5.5.3 Kabelgoot in buitenwand

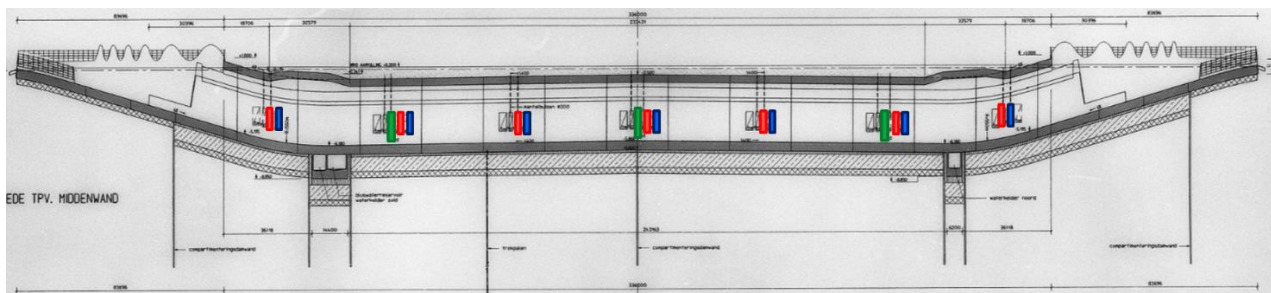
In de buitenwand bevinden zich ter plaatse van de kabelgoten in het dak ook over een beperkte hoogte kabelgoten in de wand, zie Figuur 15. De afdekking is uitneembaar.



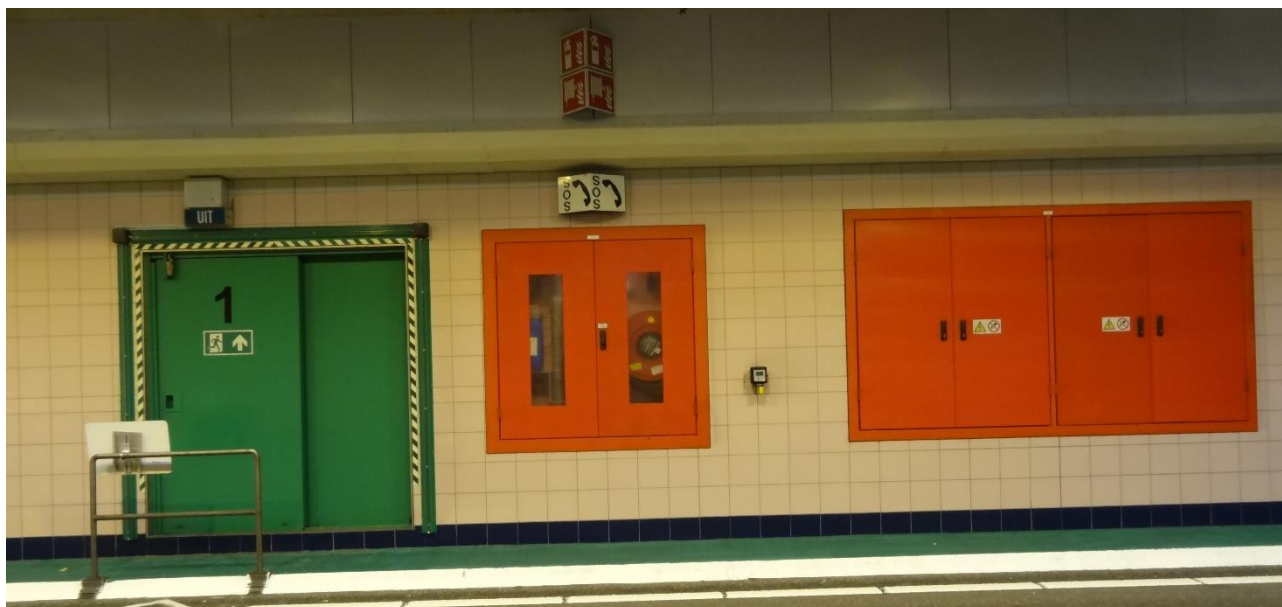
Figuur 15 Kabelgoot in de buitenwand van de oostbuis ter plaatse van de kabelgoot die het tunneldak dwars kruist.

2.5.6 Vluchtdeuren

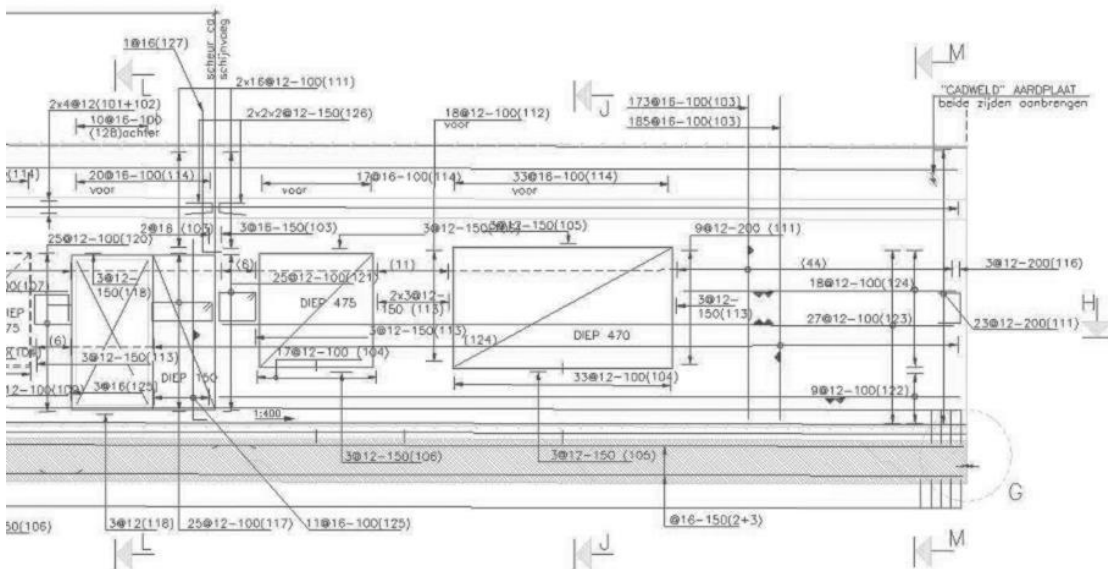
In de middenwand van de tunnel zijn drie vluchtdeuren aanwezig. In Figuur 16 is de locatie van de vluchtdeuren in groen weergegeven, in Figuur 17 is een foto van de situatie gegeven, gezien vanuit de oostbuis. In Figuur 18 en Figuur 19 zijn achtereenvolgens een aanzicht van de sparingen en een doorsnede gegeven. De dagmaat van de sparingen (in het beton) is volgens de tekeningen 1100 mm.



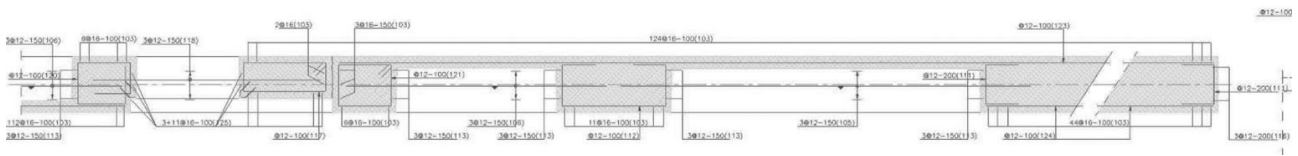
Figuur 16 Overzicht vluchtdeuren (groen), hulppostkasten (rood) en kasten energievoorziening (blauw) in middenwand. Merk op dat de kasten voor energievoorziening in werkelijkheid een rode kleur hebben (Figuur 17).



Figuur 17 Vluchtdeuren, hulppostkasten (midden) en kasten energievoorziening (rechts) in middenwand. Rechts van de hulppostkast bevindt zich een sensor voor de meting van de luchtkwaliteit.



Figuur 18 Aanzicht sparingen voor vluchtdeuren, hulppostkasten en kasten energievoorziening in middenwand (tekening BR221-C-1166).



Figuur 19 Doorsnede sparingen voor vluchtdeuren, hulppostkasten en kasten energievoorziening in middenwand (tekening BR221-C-1166).

2.5.7 Kasten energievoorziening

In de middenwand van de tunnel zijn zeven kasten voor de energievoorziening aanwezig. In Figuur 16 is de locatie van deze kasten in blauw weergegeven, in Figuur 17 is een foto van de situatie gezien vanuit de oostbuis. In Figuur 18 en Figuur 19 zijn achtereenvolgens een aanzicht van de sparingen en een doorsnede gegeven. Hierin is te zien dat de sparingen voor de energievoorziening een diepte hebben van 470 mm. Uitgaande van een wanddikte van 600 mm resteert achter deze kasten een betondikte van 130 mm. Figuur 20 toont een foto van de kasten in geopende stand.



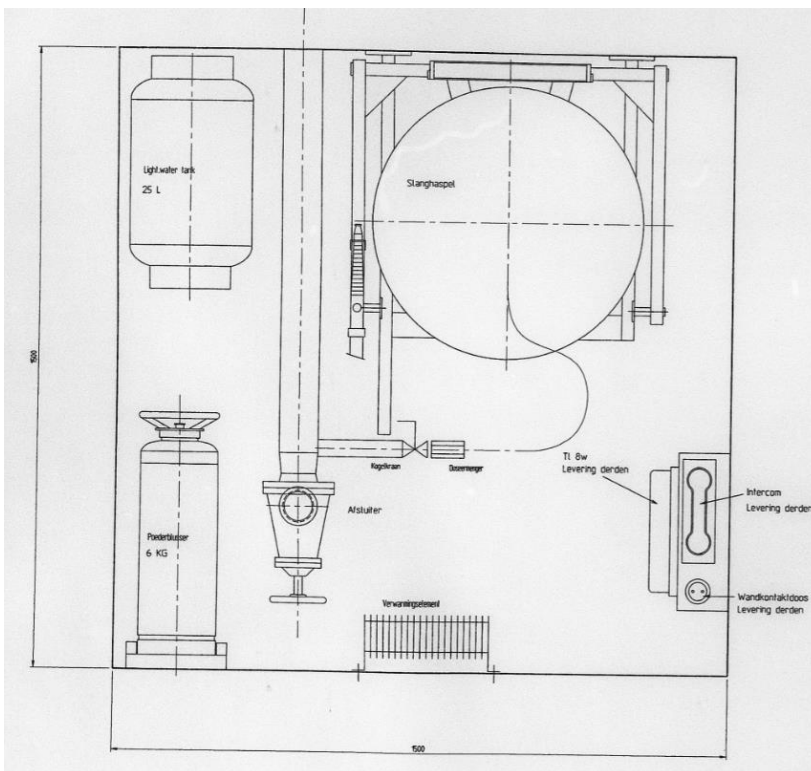
Figuur 20 Inhoud kasten energievoorziening in middenwand.

2.5.8 Hulppostkasten middenwand

In de middenwand van de tunnel zijn per tunnelbuis zeven hulppostkasten aanwezig. In Figuur 16 is de locatie van deze kasten in rood weergegeven, in Figuur 17 is een foto van de kast bij vluchtdoor 1 gezien vanuit de oostbuis gegeven. In Figuur 18 en Figuur 19 zijn achtereenvolgens een aanzicht van de sparingen en een doorsnede gegeven. Hierin is te zien dat de sparingen een diepte hebben van 475 mm, waarmee, uitgaande van een wanddikte van 600 mm, een betondikte van 125 mm resteert achter deze kasten. Figuur 21 toont een foto van een hulppostkast in geopende stand en Figuur 22 toont een tekening van de kast. In de tekeningen is te zien dat de afmeting van de kast 1500 mm x 1500 mm bedraagt. Merk op dat tekening en foto qua indeling niet helemaal overeenkomen.



Figuur 21 Inhoud hulppostkasten middenwand.



Figuur 22 Inrichting en afmetingen hulppostkasten in middenwand (tekening BR221-M-51-03).

2.5.9 Hulppostkasten buitenwand

In de buitenwand van de tunnel zijn in beide buizen zeven kleine hulppostkasten aanwezig. Deze hulppostkasten bevinden zich in dezelfde moten als de grote hulppostkasten in de binnenwand. Figuur 23 toont een foto van een hulppostkast in de buitenwand.



Figuur 23 Hulppostkast buitenwand.

2.5.10 Meting luchtkwaliteit

Tussen de hulppostkasten en kasten voor de energievoorziening bevinden zich op de middenwand bij de vluchtdeuren sensoren voor de meting van de luchtkwaliteit (drie stuks per buis), zie ook Figuur 17 tussen hulppostkast en kast energievoorziening.

2.5.11 Pictogrammen

Op de tunnelwanden bevinden zich pictogrammen om de vluchtroute aan te duiden en de locaties van noodtelefoon en blusmiddelen, zie ook Figuur 24. In de huidige situatie is van de pictogrammen in Figuur 24 alleen de aanduiding van de noodtelefoon intern verlicht en voorzien van een voedingskabel. De nood telefoons bevinden zich in de hulppostkasten, zowel ter plaatse van de binnenwand als in de buitenwand.



Figuur 24 Pictogrammen (het pictogram voor de noodtelefoon is normaal gezien intern verlicht, op dit plaatje niet zichtbaar).

Boven de vluchtdeuren en op verschillende posities op de binnen- en buitenwanden bevinden zich verlichte pictogrammen van de (eerdere) vluchtrouteaanduiding, zie Figuur 25. Deze zijn voorzien van een voedingskabel. Deze pictogrammen worden tegenwoordig niet meer in deze vorm gebruikt in tunnels.



Figuur 25 Verlichte pictogrammen vluchtrouteaanduiding.

2.5.12 Deuren en roosters naar technische ruimten

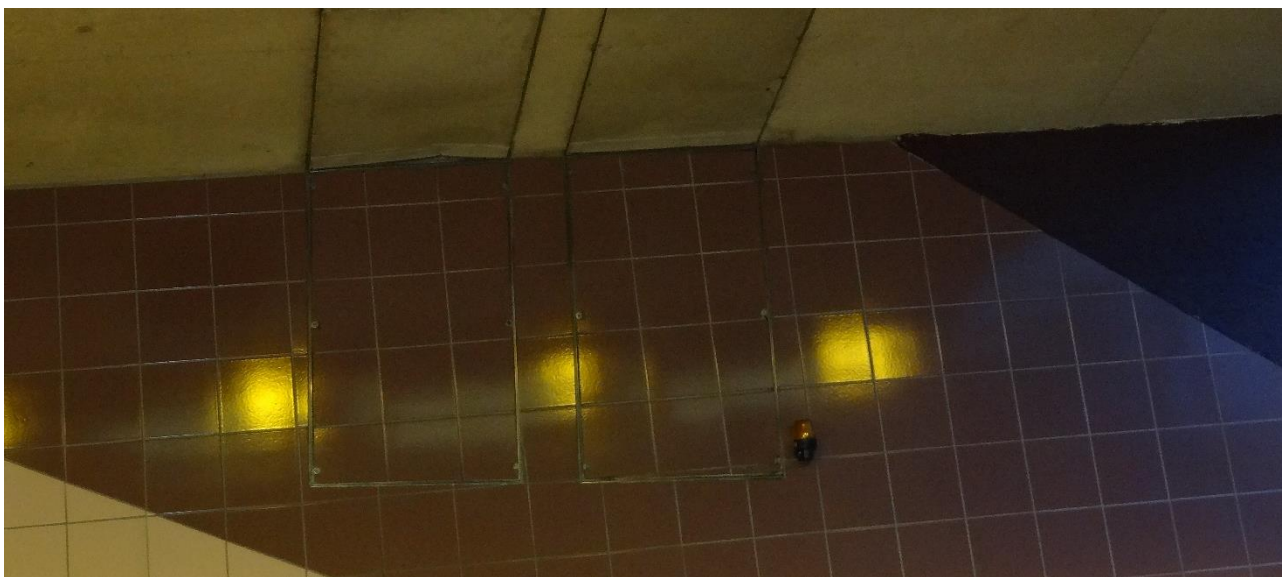
In de buitenwand bevinden zich in de oostbuis in de moten 6/7 en 17 deuren en roosters naar technische ruimten (pompruimten), zie ook Figuur 26. De brandwerendheid (WBDBO) van deuren en roosters is niet bekend.



Figuur 26 Deuren en roosters richting de pompruimten in moten 6/7 en 17 (oostbuis).

2.5.13 Indicator brandalarm

In de buitenwand bevindt zich (in de oostbuis) in moot 5 een indicator voor het brandalarm, zie ook Figuur 27. De functionaliteit hiervan is niet duidelijk.



Figuur 27 Indicator brandalarm (naast de indicator bevinden zich de kabelgoten in de wand, zie ook Figuur 15).

3 AANBRENGEN BRANDWERENDE BEKLEDING

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de ontwerpuitgangspunten voor de aan te brengen brandwerende bekleding, verschillende uitvoeringsvarianten en afwerking van de brandwerende bekleding, raakvlakken met de bestaande installaties en inpassing op hoofdlijnen.

Opgemerkt wordt dat hier een beknopte uitwerking wordt gegeven op basis van de huidige situatie. Inmiddels zijn de tunnelvoorzieningen niet meer helemaal up-to-date. Bij het ontbreken van een 'concept of operations' is het door de auteurs lastig te beoordelen of de huidige uitrusting van de tunnel voldoende adequaat is. Geadviseerd wordt eerst te toetsen of het huidige uitrustingsniveau voldoende is of dat wijzigingen gewenst zijn².

3.2 Doelstelling

Dit hoofdstuk is gericht op het opstellen van een globale omschrijving van de scope van de werkzaamheden, het schetsontwerp en de raming voor mogelijke uitvoeringsvarianten van brandwerende bekleding in de Stationspleintunnel om een brandwerendheid van (minimaal) 60 minuten te realiseren bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme. Tevens wordt beschouwd of tegen beperkte aanvullende kosten een hogere brandwerendheid kan worden gerealiseerd.

3.3 Ontwerpuitgangspunten brandwerende bekleding

3.3.1 Brandkromme en tijdsduur

De brandwerende bekleding wordt ontworpen op een brandwerendheid van 60 minuten bij verhitte volgens de Rijkswaterstaatbrandkromme.

3.3.2 Ontwerpcriteria

Uit de in de Stationspleintunnel uitgevoerde hitteproeven volgt dat de temperatuurcriteria voor het voorkomen van spatten van beton maatgevend zijn boven temperatuurcriteria om schade aan beton en wapening te voorkomen zonder dat spatten optreedt³. De temperatuurcriteria om spatten van beton te voorkomen zijn in [3] gedefinieerd op basis van de resultaten van de uitgevoerde hitteproeven:

De ontwerpcriteria voor brandwerende bekleding kunnen dan als volgt worden samengevat:

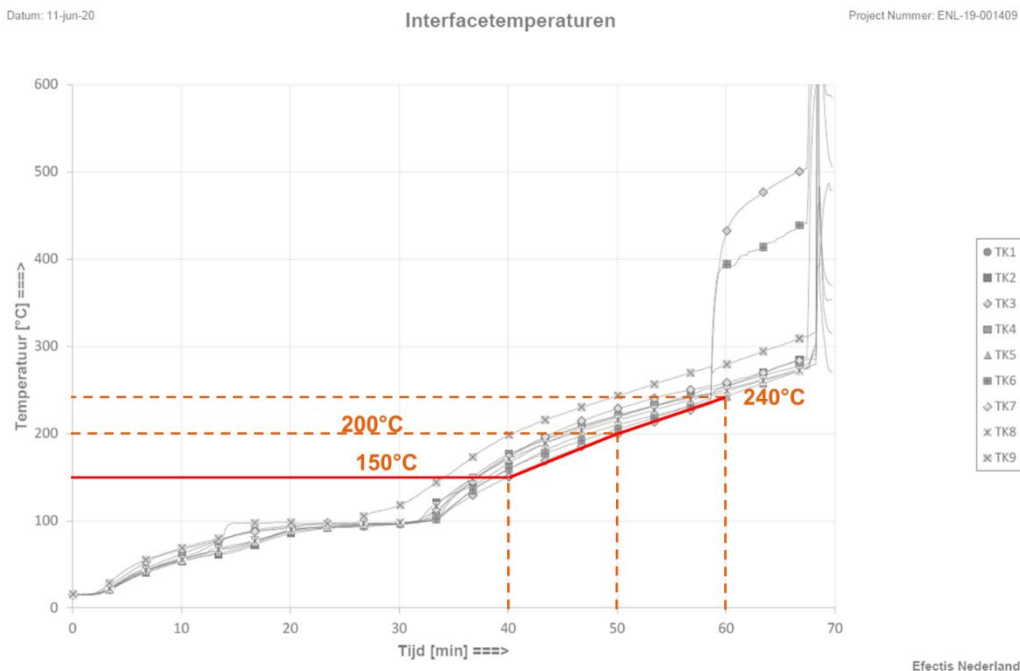
- De prestaties van de brandwerende bekleding dienen te worden aangetoond met brandproeven:
 - Brandproeven dienen te zijn uitgevoerd conform de Rijkswaterstaat/Efectis "Fire testing procedure for concrete tunnel linings", rapport 2008-Efectis-R0695 [5], aangevuld met de onderstaande eisen.
 - Verhitting dient plaats te vinden volgens de Rijkswaterstaat brandkromme gedurende minimaal 60 minuten.
 - Gedurende de brandproef dienen de betonoppervlaktetemperaturen achter de brandwerende bekleding te worden geregistreerd met thermokoppels, conform [5].
- In geval van beplating:
 - Thermokoppels dienen zowel aanwezig te zijn achter het vlak van de plaat als ter hoogte van de naden.
 - Naden dienen onderdeel te zijn van het beproefde oppervlak.
 - Brandproeven dienen te worden uitgevoerd op afmetingen groter dan de volledige plaatafmetingen waarbij in de proef ook rondom de naden rondom de plaat worden beproefd (ofwel de gekozen maximale plaatafmeting in de brandproef bepaalt de maximaal toe te passen plaatafmeting in de tunnel, in verband met krimp van bepaalde typen beplating bij verhitte).
- Tijdens de brandproef zijn de volgende temperatuurcriteria van belang:
 - Vanaf start van de brandproef tot 40 minuten na de start van de verhitte dient de maximale temperatuur van alle thermokoppels maximaal 150°C te bedragen.
 - De maximale temperatuur van alle thermokoppels dient na 50 minuten maximaal 200°C te bedragen.
 - De maximale temperatuur van alle thermokoppels dient na 60 minuten maximaal 240°C te bedragen.

² Door de tunnelbeheerder wordt op dit moment een visie op het gewenste uitrustingsniveau geformuleerd.

³ Voor tunnels niet gelegen onder water zijn dit criteria aan de temperatuur van de wapening en omliggend beton.

- De maximale temperatuur voor tussenliggende tijdstippen wordt gevonden door lineaire interpolatie van bovengenoemde criteria.

Voor de volledigheid is de grafiek uit [3] weergegeven in Figuur 28. Hierbij wordt opgemerkt dat de gestelde criteria dus strenger zijn dan de weergegeven proefresultaten waarop deze gebaseerd zijn (conservatief).



Figuur 28 Grafische weergave temperatuurcriteria voor brandwerende bekleding Stationspleintunnel te Leiden.

3.3.3 Demarcatie brandwerende bekleding

De brandwerende bekleding dient te worden aangebracht op de wanden en het dak van de Stationspleintunnel. In Figuur 29 zijn de verschillende constructieonderdelen in de dwarsdoorsnede aangegeven. Om te voldoen aan de gestelde brandwerendheidscriteria dient de brandwerende bekleding vanaf de tunnelportalen van de tunnel op de wand en het dak te worden aangebracht tot waar het gesloten deel eindigt, zie ook Figuur 30. Voor de wanden van de tunnelinritten is geen analyse gemaakt in hoeverre brand in de open inritten kan leiden tot constructief falen van deze wanden en achterliggende belendingen. Dit dient aanvullend te worden getoetst, maar is in deze beschouwing niet betrokken.

Wanden:

Op de wanden dient de bekleding (na verwijderen van de wandtegels, de brandproeven zijn namelijk zo uitgevoerd) over de gehele hoogte te worden aangebracht, echter de onderzijde van de brandwerende bekleding dient niet in contact te (kunnen) staan met (stilstaand) water, omdat deze zich dan volzuigt met vocht (de bekleding dient dus op enige afstand van het wegdek te starten). De brandwerende bekleding dient dan op enige afstand (ordegrootte 1 centimeter) van de betonband te eindigen. Indien gewenst kan een bij brand opschuimende strip worden toegepast (aangebracht op de onderzijde van de onderste plaat) om bij brand deze afstand te overbruggen. Zie Figuur 31 voor de betonrand.

Merk op dat een andere mogelijkheid is om voor de tunnelwanden een (half profiel) van een step barriër te plaatsen en daar de brandwerende beplating op aan te laten sluiten (op dezelfde wijze als hiervoor beschreven). Dit heeft impact op het PVR⁴.

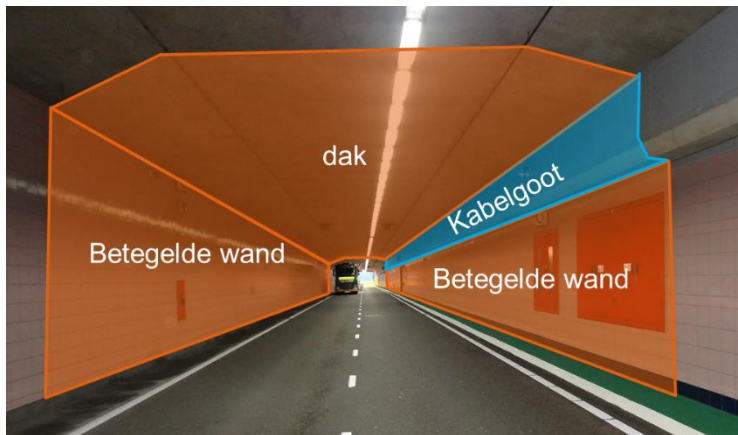
Kabelgoot/kabelkanaal middenwand:

De kabelgoot dient specifiek te worden beschouwd, enerzijds omdat deze bereikbaar dient te blijven en anderzijds omdat de brandwerendheid hiervan niet is onderzocht.

⁴ Merk op dat de ruimte/speling in de breedte van de tunnel beperkt is om voldoende plaats te bieden aan zowel de beide rijstroken als vluchtpad.

Buitenomstandigheden:

Bij de specificatie en montagedetails van de brandwerende bekleding dient, in ieder geval nabij de portalen en eventueel ook in de tunnel, rekening te worden gehouden met buitenomstandigheden (vocht/vorst).



Figuur 29 Indicatief gearceerde zone waarover brandwerende bekleding moet worden aangebracht in dwarsdoorsnede (beëindiging van de arcering is niet bedoeld, het hele overdekte deel moet worden bekleed, maar beëindiging maakt de figuur duidelijker).



Figuur 30 Gearceerde zone voor de aan te brengen brandwerende bekleding ter plaatse van het tunnelportaal.



Figuur 31 Aanwezige betonrand ter plaatse van de onderzijde van de buitenwand.

3.3.4 Overige aspecten

De opdrachtgever heeft aangegeven dat de volgende aspecten specifiek van belang zijn voor de Stationspleintunnel:

- **Afwerkingsniveau:** gezien de ligging van de Stationspleintunnel is de afwerking van de tunnel van belang, waarschijnlijk zal dit ter goedkeuring door een landschapsarchitect moeten worden beoordeeld.
- **Wasbaarheid:** de wanden dienen nat te kunnen worden gereinigd (met een wandenwaswagen).
- **Laagdikte:** gezien het huidige profiel van vrije ruimte en de breedte van de vluchtpaden ter plaatse van de middenwand is de beschikbare ruimte voor het aanbrengen van brandwerende bekleding beperkt. Harde eisen hieraan moeten worden gesteld, maar zijn nog niet afgeleid.
- **Optimalisatie:** aangezien de investering voor het aanbrengen van brandwerende bekleding aanzienlijk is, is de wens na te gaan in hoeverre - tegen beperkte meerkosten - meer brandwerendheid (een langere tijd tot de criteria worden overschreden) en daarmee meer robuustheid kan worden gerealiseerd. Hierbij dient echter specifiek rekening te worden gehouden met de beperkt beschikbare ruimte, omdat een langere brandwerendheid leidt tot een grotere dikte.

3.4 Systeemopbouw brandwerende bekleding

Aan fabrikanten van brandwerende bekleding is gevraagd welke oplossingen zij voorstellen om aan de genoemde ontwerpuitgangspunten te voldoen. Daarnaast is gevraagd welke afwerkopties er bestaan voor de beplating. Navraag is gedaan bij Etex/Promat, leverancier van Promatect-beplating en Fendolite MII gespoten bekleding, en bij James Hardie/Fermacell, leverancier van Aestuver-beplating. Niet van alle afwerkopties zijn (eenduidige) prijzen ontvangen, echter is aangenomen dat voor vergelijkbare producten vergelijkbare prijzen van toepassing zullen zijn.

3.4.1 Enkellaags beplating – Montage direct op beton

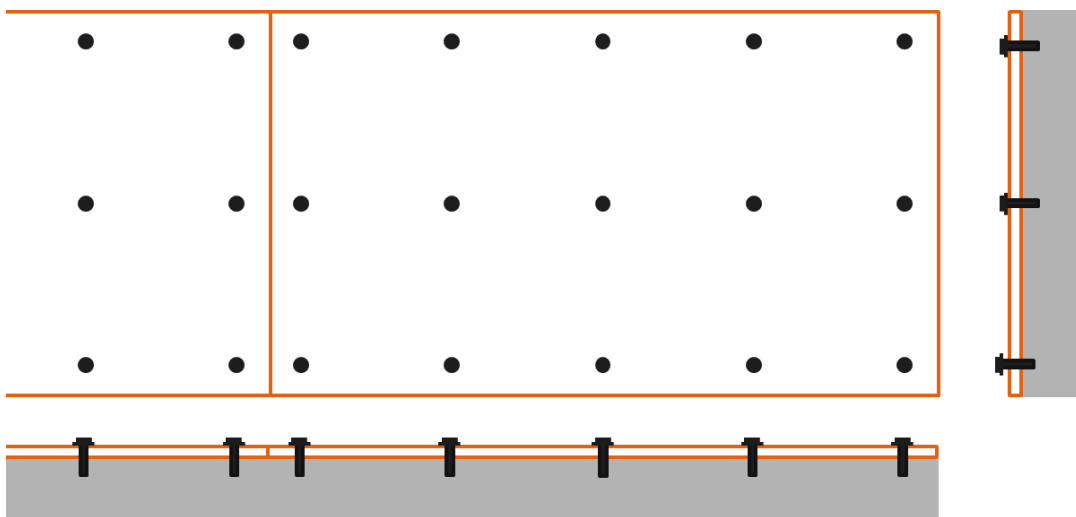
Beide leveranciers stellen een enkellaags beplating voor, bestaande uit bijvoorbeeld 22 mm Promatect-T of 25 mm Aestuver-Tx, uitgevoerd met stotende naden. Plaatafmetingen zijn afhankelijk van de fabrikant en het toe te passen product en bedragen zo'n 2500 mm x 1250 mm. De beplating wordt in het algemeen bevestigd met slagankers van roestvrijstaal in A4 kwaliteit met een roestvrijstalen carrosserie-ring tussen plaat en ankerkop. De hart-op-hart afstand van de ankers bedraagt (ruim) 500 mm en de ankers bevinden zich op 50 tot 100 mm vanaf de rand. In Figuur 32 is een impressie weergegeven van het ankerpatroon voor een enkellaags beplating bevestigd direct op het beton.

De leveranciers hebben aangegeven in het bezit te zijn van testresultaten met deze laagdikte bij verhitting volgens de RWS-brandkromme gedurende 1 uur. Dit geldt echter hoogstwaarschijnlijk voor de betonoppervlaktetemperatuur achter het vlak van de plaat: ter plaatse van de naden worden de gevraagde temperaturen zoals weergegeven in Figuur 28 zeer waarschijnlijk overschreden. Dit betekent echter nog niet dat spatten van beton op zal treden, echter de *aantoonbaarheid* dat spatten van beton niet op zal treden is complex. Uitsluitend op basis van brandproeven in projecten met een spatgevoeliger betonmengsel dan in de Stationspleintunnel kan *aannemelijk* worden gemaakt dat een voorgesteld systeem voldoet. Indien deze niet voorradig zijn dient dit te worden aangetoond met specifieke proeven. Dit zou kunnen met nieuwe in situ proeven met conservatieve uitgangspunten, bijvoorbeeld met veel ruimere naden tussen de platen dan in werkelijkheid zullen voorkomen (enkele millimeters), zodat aantoonbaar is dat spatten niet optreedt bij de oplossing die zal worden toegepast.

Op plaatsen waar de achtergelegen constructie benaderbaar of inspecteerbaar moet zijn (uitneembare beplating: bijvoorbeeld ter plaatse van de kabelwegen), kunnen speciale ankers toegepast. Deze kunnen bijvoorbeeld eindigen in een schroefdraad die kan worden voorzien van een zelfborgende moer (eenmalig gebruik van de moer) om meerdere keren de beplating te kunnen verwijderen en terug te plaatsen.

De stotende naden⁵ *kunnen* afhankelijk van de spatgevoeligheid van het beton en het gedrag van het toegepaste product bij opwarming maatgevend zijn in de brandwerendheid, omdat hierdoor warmtelekkage naar het achtergelegen beton kan plaatsvinden. Naden zijn praktisch gezien niet te voorkomen bij het aanbrengen, door bijvoorbeeld de vlakheid van de ondergrond of toleranties in platen. Naden dienen dan ook te zijn opgenomen in de brandproeven. Naden in het werk kunnen achteraf pas vanaf een minimale breedte (volledig) worden gevuld. Geadviseerd wordt om vooraf een eenduidige richtlijn op te stellen wat de maximale naadbreedte mag zijn en welke maatregelen nodig zijn indien hiervan wordt afgeweken.

De kosten van een enkellaags brandwerende beplating inclusief montage en bevestigingsmiddelen, exclusief afwerking, bedragen zo'n € 85,= per m². Opgemerkt wordt dat deze prijs gebaseerd is op het aanbrengen van de beplating op vrij toegankelijke vlakke delen van het plafond/wanden waarbij geen bijzondere werkzaamheden noodzakelijk zijn en bij uitvoering van de werkzaamheden overdag. Door de laagdikte (beperkt, met enkele mm, maximaal tot zo'n 40 mm) te verhogen nemen alleen de materiaalkosten toe, waardoor de kosten inclusief montage op lopen tot zo'n € 100,= per m².



Figuur 32 Typisch ankerpatroon enkellaags beplating direct op beton.

⁵ Merk op dat het (helaas) niet gebruikelijk is een messing en groef verbinding toe te passen bij het monteren van brandwerende beplating. De leverancier geeft aan dat hier wel onderzoek naar is gedaan, maar de messing/groef beschadigt snel en bij op maat zagen van een plaat is deze ook weg.

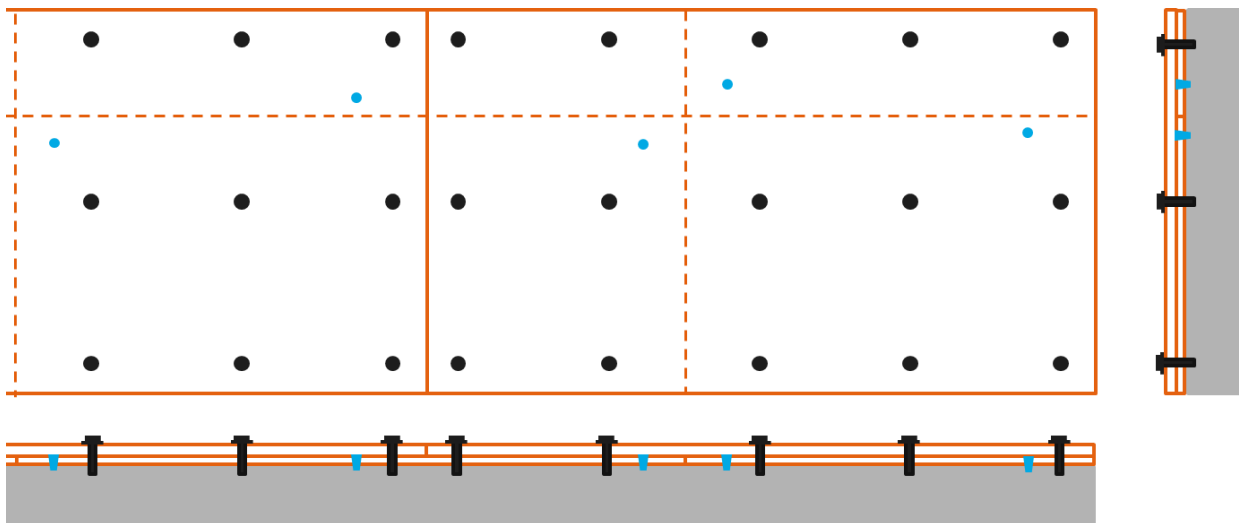
3.4.2 Dubbellaags beplating – Montage direct op beton

Door een dubbellaags beplating aan te brengen, kan de warmtelekage door naden worden beperkt door de patronen van de eerste en tweede laag te laten verspringen. Vooral indien een langere brandwerendheid gewenst is, speelt dit een belangrijke rol.

Indien een dubbellaags systeem wordt gekozen, is het van belang dat dit ook als zodanig is getest. Uit brandproeven volgt dat er een ondergrens geldt voor de laagdikte van de buitenste (direct aan de brand blootgestelde) plaat, omdat de gehele plaat zeer hoge temperaturen bereikt. De kosten voor een dubbellaags systeem zijn - afgezien van de materiaalkosten - aanzienlijk hoger omdat het aanbrengen van twee lagen beplating ook ongeveer twee keer zoveel werk is.

De beplating wordt in het algemeen (in twee richtingen) versprongen bevestigd. De eerste laag wordt bevestigd met enkele spanhulzen per plaat. De spanhulzen zijn uitsluitend bedoeld voor de bevestiging aan het beton tot de tweede laag wordt bevestigd. De tweede laag wordt op dezelfde wijze bevestigd als bij een enkellaags systeem: met slagankers van roestvrijstaal in A4 kwaliteit met een roestvrijstalen carrosseriering tussen plaat en ankerkop en een hart-op-hart afstand van de ankers van (ruim) 500 mm. In Figuur 33 is een impressie weergegeven van dubbellaags beplating direct op het beton, waarbij de spanhulzen voor bevestiging van de eerste laag in blauw zijn weergegeven.

De kosten van een dubbellaagse brandwerende beplating inclusief montage en bevestigingsmiddelen, exclusief afwerking, bedragen zo'n € 150,- per m². Deze hogere prijs wordt veroorzaakt door enerzijds meer arbeidskosten en anderzijds een grotere minimale dikte (meer materiaalgebruik). Een dubbellaags-systeem van 15 + 20 mm Promact-T is voldoende om een brandwerendheid van 2 uur te behalen. Door de grotere totale dikte van de beplating (ten opzichte van een enkellaags systeem), is de warmtelekage ter plaatse van ankers relatief gezien kleiner, waardoor voor de montage van installaties mogelijk grotere ankerdiameters kunnen worden toegepast zonder extra maatregelen (zie ook 3.6.3).



Figuur 33 Typisch ankerpatroon van een dubbellaagse beplating direct op beton. De onderste laag wordt tijdelijk gefixeerd met spanhulzen (blauw) en alleen het ankerpatroon van de buitenste beplatingslaag is zichtbaar aan de zichtzijde.

3.4.3 Enkellaags beplating op stroken

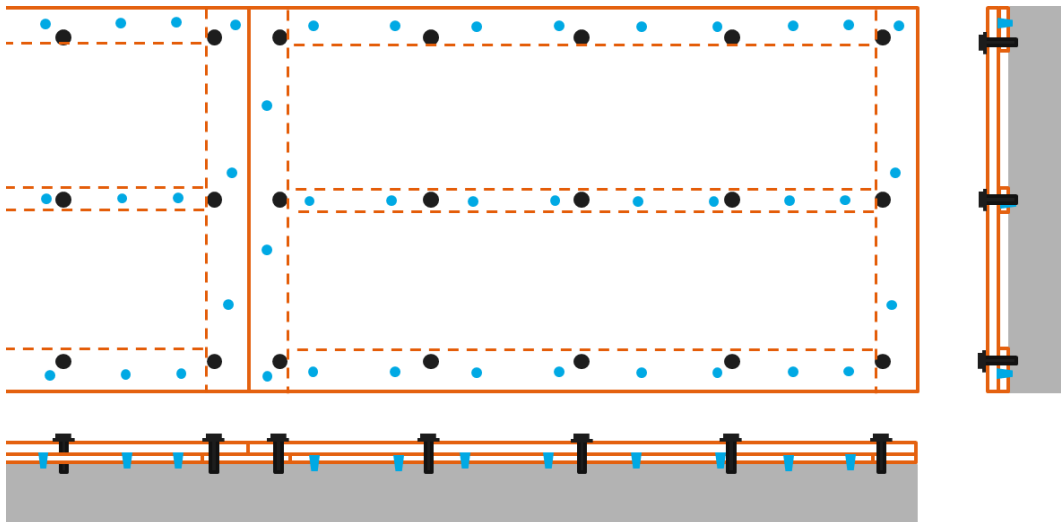
Ook door een enkellaags beplating op stroken aan te brengen, kan de warmtelekage door naden worden beperkt. Vooral indien een langere brandwerendheid gewenst is, speelt dit een belangrijke rol.

Bij enkellaags beplating op stroken worden stroken gemonteerd die onder de randen van de plaat komen en in langsrichting in de as van de plaat, zodat ankers in hetzelfde ankerpatroon kunnen worden aangebracht als gebruikelijk. De stroken zijn dunner dan de aan te brengen beplating en worden bevestigd met spanhulzen. De laag beplating wordt vervolgens weer op dezelfde wijze bevestigd als in een enkellaags systeem: met slagankers van roestvrijstaal in A4 kwaliteit met een roestvrijstalen carrosseriering tussen plaat en ankerkop en een hart-op-hart afstand van de ankers van (ruim) 500 mm. In Figuur 34 is een ankerpatroon gegeven van een enkellaags beplating op stroken, waarbij de spanhulzen in blauw zijn weergegeven.

Bij een enkellaags beplating op stroken is het aanbrengen van verankeringen van installaties lastiger dan wanneer de beplating direct op het beton is aangebracht, omdat er achter een groot deel van de plaat een spouw aanwezig is (en daar dus niet op kan worden afgesteund). Indien vooraf bekend is waar installaties dienen te worden gemonteerd, kan hier bij het aanbrengen reeds rekening mee worden gehouden en kunnen extra stroken worden aangebracht.

De kosten voor een enkellaagse beplating op stroken zijn hoger dan een enkellaags systeem direct op het beton doordat de materiaalkosten hoger zijn en het aanbrengen meer werk is.

De kosten van een enkellaags brandwerende beplating op stroken inclusief montage en bevestigingsmiddelen, exclusief afwerking, bedragen zo'n € 105,- per m². Deze hogere prijs wordt veroorzaakt door enerzijds meer arbeidskosten en anderzijds door een grotere benodigde minimale dikte. In de Gaasperdammertunnel is Promatect-T toegepast met stroken van 15 mm dik en beplating van 30 mm (+ 10% als veiligheidsmarge) om 2 uur brandwerendheid te realiseren. Door de grotere totale dikte van de beplating ter plaatse van de stroken is de warmtelekkage ter plaatse van ankers relatief gezien kleiner, waardoor mogelijk grotere diameters kunnen worden toegepast zonder extra maatregelen (zie ook 3.6.3). De dikte van de beplating van 30 mm kan worden gereduceerd indien een brandwerendheid van minimaal 60 minuten dient te worden gerealiseerd, echter ook hier is sprake van een ondergrens in relatie tot de stabiliteit van de plaat. Locaties van overige voorzieningen op de tunnelwand of het dak moeten vooraf bekend zijn, zodat er stroken achter de beplating kunnen worden geplaatst, omdat het achteraf niet op alle locaties mogelijk is deze voorzieningen te bevestigen zonder aanvullende maatregelen (zonder maatregelen alleen mogelijk op de stroken). Dit beperkt de flexibiliteit in de toekomst voor de plaatsing van voorzieningen. De raakvlakken met de reeds bekende aan te brengen voorzieningen (zie ook 3.7.2 en 3.7.3) dienen dan ook goed te worden bewaakt bij de montage van de brandwerende bekleding.



Figuur 34 Ankerpatroon van een enkellaagse beplating op stroken op beton. Stroken zijn benodigd achter de naden en in langsrichting in de as van de plaat. De onderste laag wordt gefixeerd met spanhulzen (blauw) en alleen het ankerpatroon van de buitenste beplatingslaag is zichtbaar aan de buitenzijde.

3.4.4 Gespoten bekleding met benetting

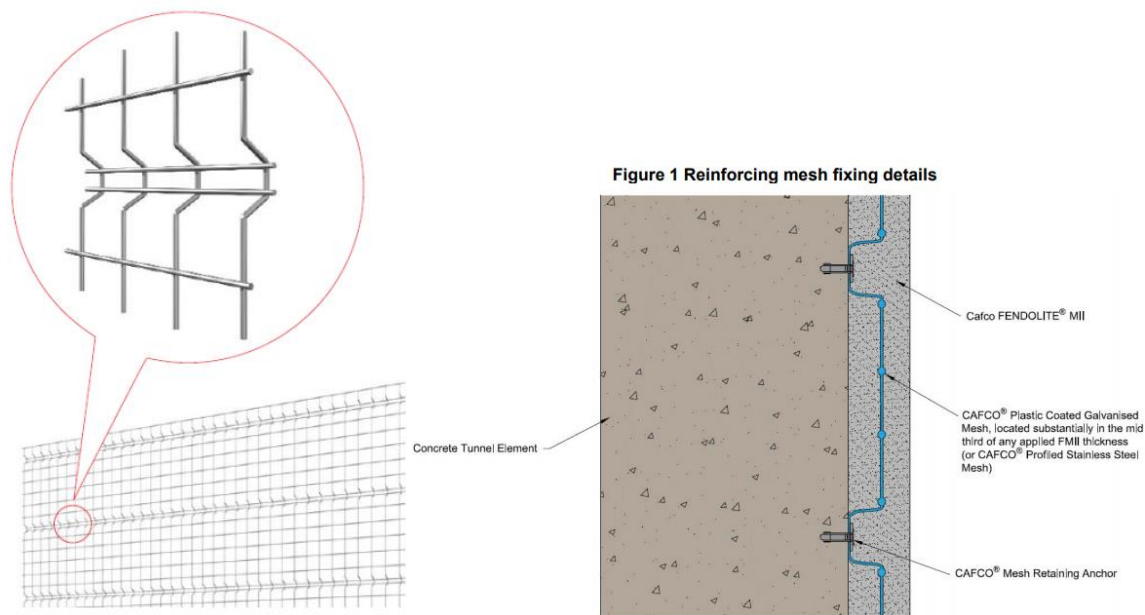
Naast beplating is ook een gespoten bekleding een mogelijkheid om de gewenste brandwerendheid te realiseren. Om zeker te zijn van voldoende hechting op het betonoppervlak is het aanbrengen van een benetting (wapeningsnet) noodzakelijk (dit wordt ook geadviseerd door de leverancier). De benetting is verzinkt en voorzien van een coating en wordt vastgezet met roestvrijstalen ankers in de wand / het plafond. Vervolgens kan een gespoten bekleding worden aangebracht, bijvoorbeeld 36 mm Fendolite M II. Voorafgaand aan het aanbrengen van de gespoten bekleding, adviseert de leverancier het betonoppervlak schoon te spuiten (hydromillen), waarbij een dun laagje beton wordt verwijderd om meer hechting te creëren. Het aanbrengen van spuitpleister is een nauwkeurig proces waarover overal geborgd moet worden dat de gewenste minimale laag spuitpleister wordt aangebracht. Een gespoten bekleding resulteert in een vrij ruw oppervlak.

Een gespoten bekleding is alleen mogelijk op plaatsen waar de achtergelegen constructie niet benaderbaar of inspecteerbaar hoeft te zijn, omdat de bekleding niet eenvoudig kan worden verwijderd en weer teruggeplaatst.

Spuitleister kan worden toegepast indien het oppervlak bestaat uit een moeilijke vorm die met beplating alleen door veel detaillering kan worden uitgewerkt. Het aanbrengen van de verankeringen van installaties is complexer dan bij beplating, en vergt complexere details. Dit omdat er geen grote krachten kunnen worden afgesteund op de gespoten bekleding.

De kosten voor het aanbrengen van een gespoten bekleding inclusief montage en bevestigingsmiddelen, exclusief afwerking (in de zin van een kleur), bedragen zo'n € 225,= per m².

Gezien de hogere kosten is bij de verdere uitwerking de focus gelegd op brandwerende beplating.



Figuur 35 Principe van brandwerende spuitpleister met benetting.

3.5 Afwerkingsopties brandwerende bekleding

3.5.1 Promatect-beplating

3.5.1.1 Achteraf aangebrachte keimlaag

Na aanbrengen van de brandwerende beplating kan een keimlaag worden aangebracht. Dit is in Nederland in de Michiel de Ruijtertunnel in Amsterdam en de Stadsbaantunnel in Utrecht aangebracht. De afwasbaarheid hiervan wordt nog onderzocht door de fabrikant. Het verwijderen van graffiti is lastig⁶.

De kosten van een dergelijke afwerking bedragen, afhankelijk van de kleur en bereikbaarheid, € 13,= tot € 20,= per m² inclusief aanbrengen. Een keimlaag kan ook worden aangebracht op een gespoten bekleding.

⁶ Merk op dat de Stationspleintunnel makkelijk toegankelijk is door de aanwezige trappen en de ligging in het centrum, waardoor graffiti een reëel risico is.



Figuur 36 Keimlaag op bovenste deel wand en dak in Michiel de Ruijtertunnel in Amsterdam.

3.5.1.2 Promatect-T-FX Deco geïntegreerd in beplating

Promatect-T-FX Deco is een samengesteld product bestaande uit Promatect-T-FX beplating voorzien van een afwerklaag van Polyvision. Deze afwerklaag bestaat uit een 1,2 mm dikke laag staal met een glascoating die rechtstreeks (in de fabriek) op Promatect-T-FX beplating wordt geplakt (merk op dat de Promatect-T-FX beplating anders is dan de Promatect-T beplating, de eerstgenoemde is een nieuwe plaat van Promat), zie ook Figuur 37.

Het materiaal is krasvast, is afwasbaar en kent een garantie van 25 jaar. Er zijn veel mogelijkheden qua kleur en motief.

De panelen kunnen op backerstrips (stroken) tegen het beton worden gemonteerd, waarbij de ankers tussen de twee panelen worden geplaatst (of als onderdeel van een dubbellaags systeem). Alternatief is het plaatsen tegen een frame of (blind) op een rails hangen (wat niet nader is beschouwd). Dit is een typische afwerking voor (het door de verlichting verlichte deel van) de wanden en nietvoor het veel minder zichtbare plafond.

De meerkosten voor deze afwerklaag op de beplating bedragen ongeveer € 40,= per m² exclusief aanbrengen (aannee is dat de kosten voor aanbrengen reeds verwerkt zitten in het aanbrengen van de beplating). Voor de volledigheid: deze afwerklaag kan worden toegepast door de platen aan zichtzijde van dit systeem te voorzien bij een dubbellaags systeem of bij een enkellaags systeem op stroken (in beide gevallen ankers tussen twee panelen). De totaalprijs wordt daarmee € 195,= per m² voor het dubbellaags systeem en € 145,= per m² voor een enkellaags systeem op stroken.



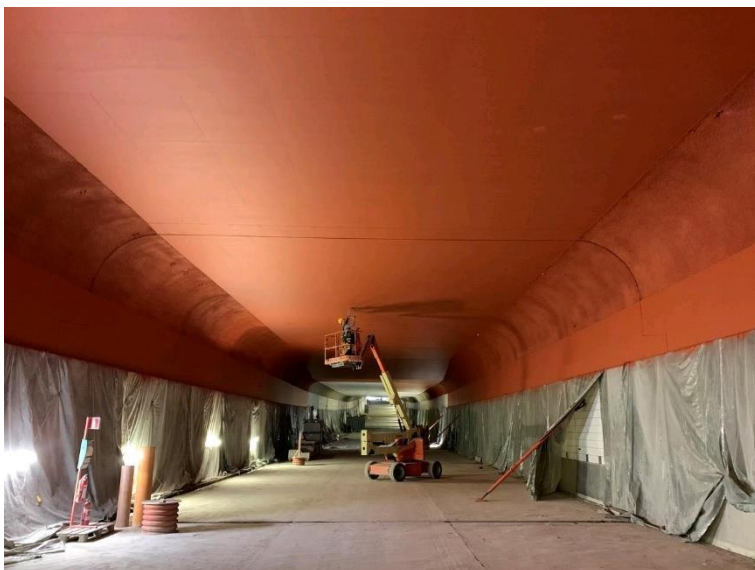
Figuur 37 Promatect-F-TF Deco: Polyvision afwerklaag op Promatect TF-X beplating.

3.5.2 Aestuerver-Tx beplating

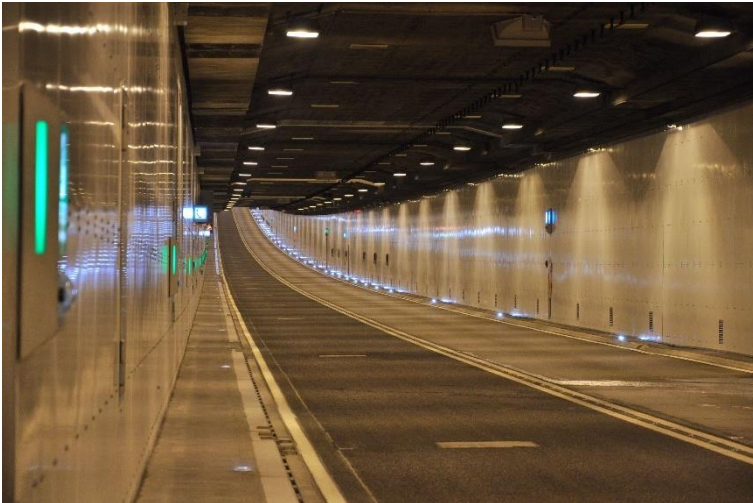
3.5.2.1 Achteraf aangebrachte coating

Na aanbrengen van de brandwerende beplating kan een coating worden aangebracht. De fabrikant heeft aangegeven dat in eerdere projecten met Aestuerver-Tx deze coating is aangebracht door verschillende partijen:

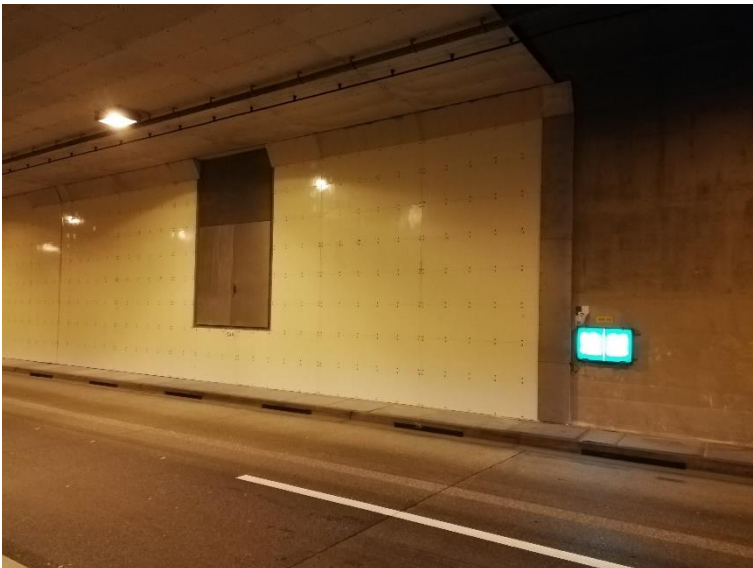
- Coating van de beplating van Remmers Group AG (Color PA pure acrylic facade paint) in de Marieholmtunnel in Göteborg, Zweden, zie Figuur 38.
- Transparante coating van de beplating van Sto AG (StoCryl HG 100, StoCryl HG 200, StoCryl HC 100 and StoCryl HP 200) in de Elbetunnel in Hamburg, Duitsland, zie Figuur 39.
- Transparante coating van de beplating van MAPEI GmbH (Mapecoat SF 95) in Tunnel Rannersdorf-Vösendorf in Oostenrijk, zie Figuur 40.



Figuur 38 Coating van acrylverf van Remmers Group AG in Marieholmtunnel in Göteborg, Zweden.



Figuur 39 Transparante StoCryl coating van Sto AG in Elbetunnel in Hamburg, Duitsland.



Figuur 40 Transparante Mapecoat SF 95 coating van MAPEI GmbH in Tunnel Rannersdorf-Vösendorf in Oostenrijk.

3.5.2.2 Afwerklaag Omeras beplating

Na aanbrengen van de brandwerende beplating kan een afwerklaag van beplating worden aangebracht met een geheel onafhankelijk bevestigingssysteem (bijvoorbeeld een rail). Dit is eerder gedaan met een beplating van Omeras in de Wiltener tunnel in Oostenrijk, zie ook Figuur 41.

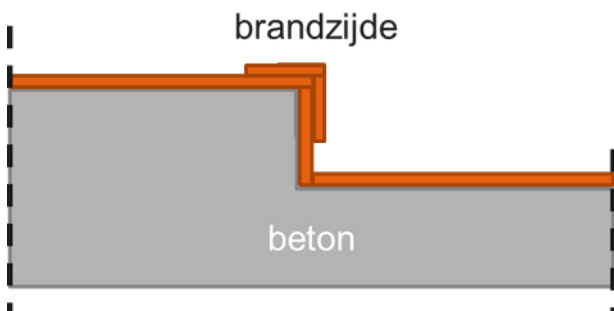


Figuur 41 Afwerklaag aangebracht voor Aestuver-Tx beplating met elementen van Omeras in de Wiltener tunnel in Oostenrijk.

3.6 Bijzondere situaties

3.6.1 Meerzijdige verhitting

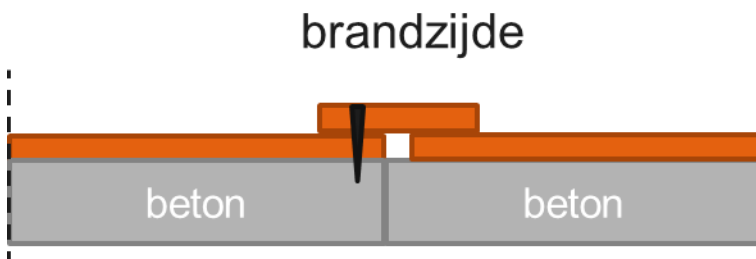
Bij uitwendige hoeken warmt het achterliggende beton sneller op, er kan dan immers sprake zijn van tweezijdige verhitting. Dit kan worden ondervangen door het aanbrengen van een dikkere laag bekleding op uitwendige hoeken, bijvoorbeeld zoals weergegeven in Figuur 42. Dit kan in de Stationspleintunnel van belang zijn ter plaatse van het kabelkanaal en bij de sparingen van hulppostkasten, energievoorziening en de deuren. Dit betekent dat mogelijk extra werkzaamheden noodzakelijk zijn op deze punten.



Figuur 42: Detail brandwerende bekleding bij uitwendige hoek.

3.6.2 Dilataties

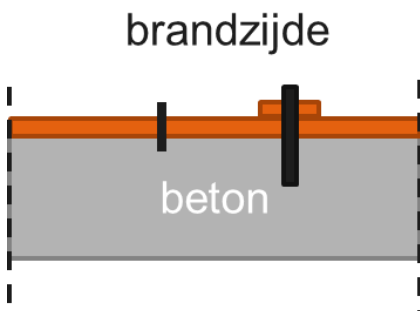
Bij dilataties of bewegende voegen is het niet mogelijk de beplating door te zetten over de onderbreking van het betonoppervlak, omdat de plaat de vervormingen mogelijk niet kan opvangen. Een standaard detail voor deze situatie is het aanbrengen van een extra laag beplating over de onderbreking verankerd aan één van de zijden (niet aan beide). Dit is weergegeven in Figuur 43.



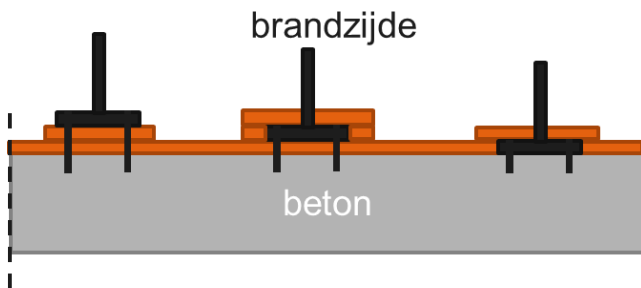
Figuur 43: Detail brandwerende bekleding bij dilataties en bewegende voegen.

3.6.3 Ankers door brandwerende bekleding

Een RVS verankering die door de brandwerende bekleding steekt, zorgt voor een warmtelek door de brandwerende bekleding naar het beton. Ankers tot ongeveer de doorsnede van de ankers waarmee de brandwerende bekleding wordt gemonteerd, zullen een vergelijkbaar effect hebben als de ankers voor de bevestiging. Voor grotere doorsnedes van de ankers (conform [5] groter dan 8 mm) zal de opwarming van het beton echter nader beschouwd dienen te worden. Hetzelfde geldt voor kop- en voetplaten van TTI-objecten. Mogelijk volgt dan dat het noodzakelijk is extra brandwerende bekleding aan te brengen of de detaillering van de bevestiging aan te passen, zie ook Figuur 44 en Figuur 45.



Figuur 44: Detail brandwerende bekleding bij ankers door de brandwerende bekleding.



Figuur 45: Detail brandwerende bekleding bij warmtelekken door de brandwerende bekleding door goed geleidende objecten.

3.7 Raakvlakken en combinatiekansen

In dit deel zijn de raakvlakken en bijbehorende aandachtspunten bij het aanbrengen van de brandwerende bekleding verzameld. Merk op dat alle installaties die worden 'aangeraakt' dienen te worden getest voordat exploitatie wordt hervat na aanbrengen van de brandwerende bekleding.

3.7.1 Raakvlakken bouwkundig

De bouwkundige raakvlakken van het aanbrengen van brandwerende bekleding hebben betrekking op:

- De tegels van de wanden dienen te worden verwijderd voordat de brandwerende bekleding wordt aangebracht.
- De invloed van de brandwerende bekleding op het profiel van vrije ruimte ter plaatse van het dak.
- De invloed van de brandwerende bekleding op het profiel van vrije ruimte op het dwarsprofiel en daarmee het wegprofiel (rekening houdend met de te verwijderen tegels).
- De invloed van de brandwerende bekleding op de breedte van de vluchtpaden.
- De brandwerende bekleding ter plaatse van de voegovergangen.

Raakvlak/Onderzoek:

- De invloed van het aanbrengen van de brandwerende bekleding op het profiel van vrije ruimte dient te worden onderzocht. Voor de (kritische) tunneltechnische installaties aan het dak is dit raakvlak specifiek benoemd in 3.7.2.
- De invloed van het aanbrengen van de brandwerende bekleding op het wegprofiel en de breedte van de vluchtpaden dient te worden onderzocht. In het algemeen geldt dat een kleinere laagdikte bekleding beter inpasbaar is.
- De tegels van de wanden dienen te worden verwijderd voordat brandwerende bekleding kan worden aangebracht.
- In het algemeen geldt dat een kleinere laagdikte van de bekleding makkelijker inpasbaar is, maar minder goede brandwerende eigenschappen heeft.
- De mootvoegen moeten zodanig worden uitgevoerd dat tijdens normaal gebruik vervormingen tussen de moten mogelijk met behoud van de brandwerendheid. Hiervoor moeten speciale voegbeschermende constructies worden toegepast die het, afhankelijk van de toegepaste wijze waarop brandwerendheid wordt geborgd, mogelijk maken vervormingen op te nemen.

3.7.2 Raakvlakken installaties dak

Naast het raakvlak met het profiel van vrije ruimte, bestaan raakvlakken met de volgende installaties voor het aanbrengen van brandwerende bekleding aan het tunneldak:

- Verlichting
- Bekabeling (LIST en antennekabel)
- Ventilatie
- Signaalgevers
- Kabelwegen
- Mantelbuizen naar bestaande installaties

3.7.2.1 Verlichting

De verlichting (2.5.1) dient te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen of er moet omheen worden gewerkt (waarbij wel een 'gat' in de brandwerende bekleding ontstaat en waarvoor bewijslast dient te worden verzameld). De verlichtingsarmaturen zijn via mantelbuizen verbonden met de kabelgoot ter plaatse van de middenwand. Indien de verlichting geheel wordt verwijderd (omdat deze niet meer wordt teruggeplaatst), dient ook de bijbehorende bekabeling in de mantelbuizen en in de kabelgoot nabij de middenwand te worden verwijderd tenzij deze kan worden hergebruikt.

De opdrachtgever heeft het voornemen na aanbrengen van brandwerende bekleding nieuwe LED-verlichting aan te brengen in plaats van de huidige verlichting. Bij het ontwerp van de nieuwe verlichting kan door rekening te houden met bestaande locaties van mantelbuizen (terugplaatsen lichtlijn op huidige plaats) mogelijk gebruik worden gemaakt van de bestaande bekabeling. Merk op dat dit ook vanuit het oogpunt van functiebehoud bij brand voordelen biedt, omdat de bekabeling door de mantelbuizen loopt in plaats van door de tunnel waardoor deze wordt afgeschermd.

De kleur van de wandbekleding heeft invloed op het verlichtingsniveau (en daarmee het energieverbruik) in de tunnel. De verlichting kan mogelijk worden gemonteerd met ankers met een relatief beperkte doorsnede. Hoe uitvoering plaats heeft moet nader worden onderzocht.

Uitgangspunt: Voorzien is dat de huidige verlichting *niet* wordt teruggeplaatst en het aanbrengen of ontwerpen van nieuwe verlichting geen onderdeel is van de scope van deze raming. De huidige mantelbuizen dienen echter bereikbaar te blijven, zie 3.7.2.6.

Raakvlak: De kleur van de afwerking van de wandbekleding heeft invloed op de verlichtingssterkte (en daarmee het energieverbruik) van de verlichting, hiermee dient rekening te worden gehouden bij het ontwerp van de verlichting. Een goed afgestemde wandafwerking kan het energieverbruik van de verlichting reduceren.

3.7.2.2 Bekabeling op tunneldak

De LIST- en antennekabels (2.5.2) dienen te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen.

De opdrachtgever overweegt na aanbrengen van de brandwerende bekleding de LIST kabel niet opnieuw aan te brengen, omdat branddetectie door middel van zichtmeting is voorzien. Voor de antennekabel wordt dit ook overwogen, echter dient te worden nagegaan wat er vereist is vanuit Bouwbesluit en WARVW en wordt aanbevolen dit af te stemmen met de hulpdiensten. Een wegtunnel met een tunnellengte van meer dan 250 m heeft namelijk conform Bouwbesluit (Artikel 6.40 lid 2) *een door bevoegd gezag goedgekeurde installatie voor mobiele radiocommunicatie tussen hulpverleningsdiensten binnen en buiten die wegtunnel*.

Uitgangspunt: Aangenomen is dat de huidige LIST- en antennekabels *niet* wordt teruggeplaatst.

Onderzoek: Welke installaties vereist zijn vanuit de wetgeving (Bouwbesluit en WARVW) voor de Stationspleintunnel dient te worden onderzocht.

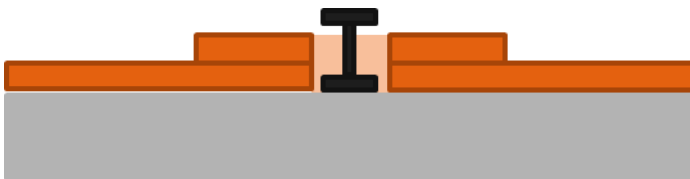
3.7.2.3 Tunnelventilatie

De tunnelventilatie (2.5.3) dient te worden verwijderd en weer teruggeplaatst om de brandwerende bekleding aan te brengen of er moet zoveel mogelijk worden gedaan binnen de beschikbare ruimte (en onderbouwd waarom dat kan en afgestemd waarom dat acceptabel is). De ventilatoren zijn via ingestorte mantelbuizen verbonden met de kabelgoot ter plaatse van de middenwand.

Indien het aanbrengen van bekleding op het tunneldak ertoe leidt dat de onderzijde van de ventilatoren enkele centimeters dicht bij het wegdek komt te liggen, kan deze daarmee mogelijk in het profiel van vrije ruimte komen (en dat is waarschijnlijk onacceptabel). In Figuur 9 lijkt zichtbaar te zijn dat de ventilatoren op profielen zijn gemonteerd. Gezien de complexiteit van de bevestiging van de ventilatoren wordt aangeraden te onderzoeken of het mogelijk is brandwerende bekleding tussen tunneldak en ventilatoren te plaatsen. Dit kan mogelijk door de ruimte tussen beplating en profielen op te vullen (met bijvoorbeeld, indien voor Promatect wordt gekozen, Promatect-T compound) om tot een detaillering zoals weergegeven in Figuur 45 te komen, zie bijvoorbeeld Figuur 46.

Raakvlak/Onderzoek:

- Of er ruimte beschikbaar is ter plaatse van de ventilatoren ten opzichte van het profiel van vrije ruimte dient te worden onderzocht (als de bevestiging van de ventilatoren zou worden aangepast).
- Of er voldoende ruimte beschikbaar is voor het aanbrengen van brandwerende bekleding ter plaatse van de ventilatoren (tussen ventilator en beton) dient te worden onderzocht.
- Voorzien is dat de brandwerende bekleding wordt aangebracht zonder de positie van de huidige ventilatoren aan te passen in verband met de impact. Mogelijk wordt lokaal niet aan de ontwerpcriteria van de brandwerende bekleding voldaan gedurende de gehele tijdsduur. Dit dient te worden afgestemd met bevoegd gezag.



Figuur 46: Detail brandwerende bekleding (beplating) bij ophanging ventilatoren.

3.7.2.4 Signaalgevers

De signaalgevers (2.5.4) dienen te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen of er moet omheen worden gewerkt (en onderbouwd waarom dat kan). De signaalgevers (zie Figuur 10) zijn relatief lichte componenten met ankers met een relatief beperkte doorsnede. Na aanbrengen van de brandwerende bekleding dienen de signaalgevers weer te worden aangebracht. Indien het aanbrengen van bekleding op het tunneldak ertoe leidt dat de onderzijde van de signaalgevers in het profiel van vrije ruimte komen is dit waarschijnlijk onacceptabel en dient te worden onderzocht of een kleinere signaalgever beschikbaar is.

Uitgangspunt: Voorzien is dat de huidige signaalgevers worden verwijderd en weer worden teruggeplaatst op de gewenste (huidige?) positie.

Raakvlak/Onderzoek:

- Of er voldoende ruimte beschikbaar is voor de signaalgevers na aanbrengen brandwerende bekleding buiten het profiel van vrije ruimte dient te worden onderzocht.
- Of de bevestiging van de signaalgevers en de bekabeling door de brandwerende bekleding niet tot een te grote warmtestroom naar het betonoppervlak leidt dient te worden onderzocht.

3.7.2.5 Kruisende kabelwegen

De brandwerende bekleding ter plaatse van de kruisende kabelwegen (2.5.5.2) dient uitneembaar te zijn. Dit kan (uitgaande van brandwerende beplating, een gespoten bekleding is lokaal niet mogelijk) door middel van het toepassen van een ander type ankers. Daarnaast kan niet worden verankerd ter plaatse van de kabelgoot. Hiertoe dient de aannemer een ankerplan te maken voor dit detail, rekening houdend met de maximale hart-op-hart afstanden van de ankers.

Raakvlak: De brandwerende bekleding dient uitneembaar te zijn ter plaatse van de kruisende kabelwegen.

3.7.2.6 Mantelbuizen naar bestaande installaties

De bestaande mantelbuizen, ook die naar locaties in de wand / het dak, dienen ook in de toekomst nog bruikbaar en vindbaar te zijn. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij plaatsing van de brandwerende bekleding. Dit kan bijvoorbeeld door lokaal een kleinere plaatafmeting toe te passen en te werken met verwijderbare ankers.

Raakvlak: De huidige mantelbuizen in de wanden en het dak dienen bereikbaar te blijven voor toekomstige aanpassingen. Dit dient te worden meegegeven aan de aannemer die de bekleding aan gaat brengen.

3.7.3 Raakvlakken installaties wand

Naast het raakvlak met de breedte van het vluchtpad en het verwijderen van de betegeling, bestaan raakvlakken met de volgende installaties voor het aanbrengen van brandwerende bekleding op de tunnelwanden:

- Vluchtdeuren
- Kasten energievoorziening
- Hulpkastkasten middenwand
- Hulpkastkasten buitenwand
- Meting luchtkwaliteit
- Pictogrammen
- Deuren en roosters naar technische ruimten
- Indicator brandalarm
- Kabelkanalen middenwand
- Kabelweg in buitenwand

3.7.3.1 Vluchtdeuren

De dagkant van de sparing van de vluchtdeuren (2.5.6) bestaat uit onbeschermd beton voorzien van betegeling. Voor het bekleden van de dagkant van de vluchtdeuren gelden echter mogelijk beperkingen: de dagmaat van de breedte van de sparing in het beton is op basis van de tekeningen 1100 mm. De doorgang bij een volledig geopende vluchtdeur is echter niet bekend. Indien er voldoende ruimte beschikbaar is, kan er op de dagkanten brandwerende beplating worden aangebracht (eventueel enkellaags), mits dit geen negatieve invloed heeft op het openen van de deur en de breedte van de (minimaal vereiste) doorgang. Merk op dat bij de sparingen sprake is van een uitwendige hoek (zie Figuur 42), extra afdekking gaat mogelijk ten kosten van de beschikbare breedte voor het vluchten. In de uitwerking van de detaillering rondom de vluchtdeuren dient dit nader te worden uitgewerkt.

De installaties behorende bij de vluchtdeur als contourverlichting kunnen waarschijnlijk op de aangebrachte brandwerende bekleding worden aangebracht.

Raakvlak/Onderzoek: Of er ruimte beschikbaar is om brandwerende bekleding aan te brengen op de dagkanten van de sparing (zonder de functionaliteit van de deur te beïnvloeden) dient te worden onderzocht.

3.7.3.2 Kasten energievoorziening

Ter plaatse van de kasten voor de energievoorziening (2.5.7) kan rondom de kast brandwerende bekleding worden aangebracht, echter is dan de brandwerende bekleding van de betonwand onderbroken. Gezien de robuuste uitvoering van de kasten, is de vraag wat er in werkelijkheid zou gebeuren bij een brand. Voor (nieuwbouw) Rijkstunnels zijn echter details getest om hulpkastkasten rondom te voorzien van brandwerende bekleding zodat dit geen zwakke plek in de brandwerende bekleding vormt bij blootstelling aan de RWS-brandkromme.

Indien de kast in de huidige vorm wordt gehandhaafd, ligt deze enigszins verzonken ten opzichte van de voorzijde van de brandwerende bekleding. Voor deze kasten is het openen nog steeds voldoende ver mogelijk (minstens 90 graden). Echter, bij het wassen van de bekleding wordt in dit geval de zijkant van de bekleding geraakt (waardoor versnelde erosie mogelijk is als hiervoor geen aanvullende maatregelen zijn genomen). Er kan gekozen worden de voorzijde van de kasten naar voren te brengen door de kast dieper te maken (of de gehele kast naar voren te halen, aangezien de kast waarschijnlijk één geheel is), zodat de voorzijde van de kast gelijk komt met de voorzijde van de bekleding.

Indien het mogelijk is brandwerende deuren aan te brengen, levert dit de minste aanpassingen aan de kast op. Indien dit niet het geval is, kan de kast worden aangepast. De kast is aan de dagkant van de sparing bevestigd met ankers, zie Figuur 47. Vervolgens kan de binnenzijde van de kast worden voorzien van een laag bekleding (zijanten, bovenkant en eventueel onderkant). Het bekleden van de achterzijde van de bestaande kast kan worden overwogen om de brandcompartimentering van de tunnelbuizen robuuster uit te voeren. Alternatief zou zijn om de kast kleiner te maken en bekleding rondom aanbrengen, wat waarschijnlijk een arbeidsintensievere aanpassing betreft dan de kasten aan de binnenzijde bekleden. Deze mogelijkheden zijn weergegeven in Figuur 48. De mogelijkheden om de kasten aan te passen dienen te worden onderzocht, afgewogen en afgestemd met bevoegd gezag. Tevens moet worden onderzocht of de kasten met functiebehoud dienen te worden uitgevoerd, zodat een brand ter plaatse van een kast geen nadelige gevolgen heeft voor het functioneren van de kritische installaties in de tunnel (dat zou bijvoorbeeld het verbeteren van de brandwerende eigenschappen van de deuren betekenen).

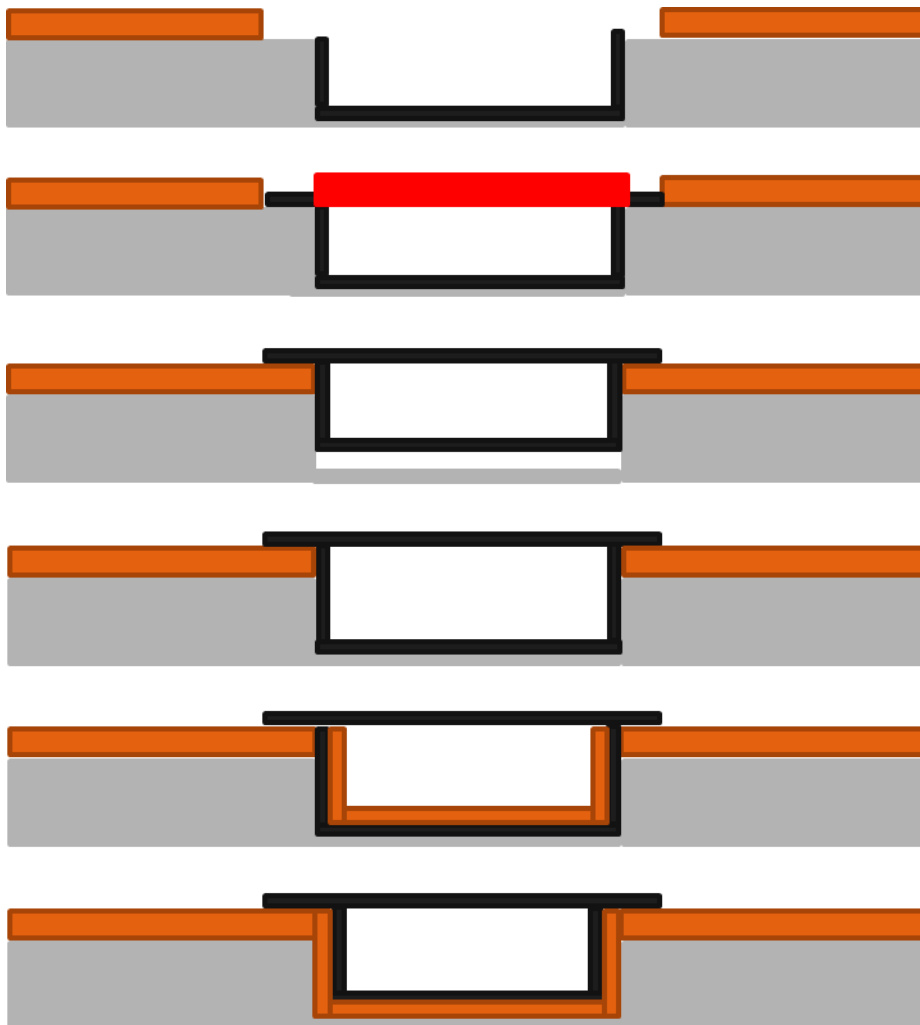
Merk tenslotte op dat in andere projecten ook een versterking van de kast ter plaatse van de dagkanten is onderzocht (bijvoorbeeld met goed aan het beton verankerde staalplaat of geperforeerde staalplaten met brandwerende beplating ertussen). Op deze wijze wordt (niet kwantitatief onderbouwd, maar kwalitatief beredeneerd) het afgespatte beton op de oorspronkelijke plaats blijft wat een isolerende werking op het achtergelegen beton heeft, waardoor (lokaal) bezwijken hierdoor dan waarschijnlijk later zal plaatsvinden.

Raakvlak/Afstemming/Onderzoek:

- Hoe de kasten worden aangepast bij het aanbrengen van de brandwerende bekleding dient te worden onderzocht, afgewogen en afgestemd met bevoegd gezag, met aandacht voor de afwasbaarheid.
- Onderzoek naar het gedrag van het tunnelsysteem bij brand ter plaatse van een kast voor de energievoorziening gericht op het al dan niet uitvoeren met functiebehoud (falen installaties alleen lokaal of in de gehele tunnel).



Figuur 47: De kasten zijn aan de betonconstructie bevestigd met ankers (in ieder geval aan de onderzijde).



Figuur 48: Schematische weergave van verschillende mogelijkheden detail rondom kast energievoorziening en hulppostkast, van boven naar beneden: aanbrengen bekleding tot de huidige kast, aanbrengen van brandwerende deuren, kast naar voren halen, diepte kast aanpassen en aansluiten met voorzijde bekleding, diepte kast aanpassen en binnenin voorzien van laag brandwerende bekleding, gehele kast aanpassen en rondom voorzien van laag brandwerende bekleding.

3.7.3.3 Hulppostkasten middenwand

De situatie voor de hulppostkasten ter plaatse van de middenwand (2.5.8) is vergelijkbaar met de kasten voor de energievoorziening. Rondom de kast kan brandwerende bekleding worden aangebracht, echter is dan de brandwerende bekleding van de betonwand onderbroken en kunnen de deuren geen 180° (meer) worden geopend (onbekend is overigens of dat in de huidige situatie wel het geval is en of het een probleem is. De brandblushaspel is wel uitneembaar, mogelijk worden voor het gebruik hiervan eisen gesteld aan de openingshoek). Door lekkages zijn een aantal hulppostkasten aanzienlijk aangetast door roestvorming, waardoor de hulppostkasten op termijn waarschijnlijk sowieso aangepast dienen te worden.

De afmetingen van de hulppostkasten zijn met 1500 mm x 1500 mm vrij ruim, zodat bij een eventuele aanpassing van de kasten voldoende ruimte beschikbaar is brandwerende bekleding aan te brengen en de dagkanten van de sparing te beschermen. Voor de hulppostkasten is ook de schematische weergave in Figuur 48 van toepassing, met de opmerking dat de deuren voldoende ver open dienen te kunnen en dat het realiseren van brandwerende deuren hier minder voor de hand liggend is, omdat deze dan minder uitnodigen tot gebruik.

Raakvlak/Afstemming/Onderzoek:

- Hoe de kasten worden aangepast bij het aanbrengen van de brandwerende bekleding dient te worden onderzocht, afgewogen en afgestemd met bevoegd gezag, met aandacht voor het voldoende ver kunnen openen van de deuren en de afwasbaarheid.

3.7.3.4 Hulppostkasten buitenwand

De hulppostkasten ter plaatse van de buitenwand (2.5.9) vormen een onderbreking van de brandwerende bekleding van de betonwand. Hiervoor geldt hetzelfde als de hulppostkasten ter plaatse van de middenwand.

Raakvlak/Afstemming/Onderzoek:

- Hoe de kasten worden aangepast bij het aanbrengen van de brandwerende bekleding dient te worden onderzocht, afgewogen en afgestemd met bevoegd gezag, met aandacht voor het voldoende ver kunnen openen van de deuren en de afwasbaarheid.

3.7.3.5 Meting luchtkwaliteit

De meting voor de luchtkwaliteit (2.5.10) dient te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen.

De opdrachtgever heeft het voornemen na aanbrengen van brandwerende bekleding deze niet terug te laten keren, omdat meting luchtkwaliteit en branddetectie op een andere wijze is voorzien. Uiteraard dient het alternatief te worden bevestigd.

Uitgangspunt: Voorzien is dat de huidige meting luchtkwaliteit *niet* wordt teruggeplaatst.

3.7.3.6 Pictogrammen

De huidige pictogrammen (2.5.11), inclusief die op de kabelgoot ter plaatse van de middenwand, dienen te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen. Na aanbrengen van de brandwerende bekleding dienen de vereiste pictogrammen te worden teruggeplaatst. Pictogrammen die overbodig of verouderd zijn, worden niet teruggeplaatst.

De bevestiging van een deel van de pictogrammen kan direct op de brandwerende bekleding plaatsvinden (de lichte pictogrammen). Voor grotere pictogrammen dient te worden onderzocht of de bevestiging niet leidt tot een te grote warmtestroom naar het betonoppervlak, indien deze met ankerdiameters groter dan M8 worden gemonteerd.

Uitgangspunt: Voorzien is dat de vereiste pictogrammen worden verwijderd en weer teruggeplaatst op de gewenste positie. Overbodige pictogrammen worden niet teruggeplaatst.

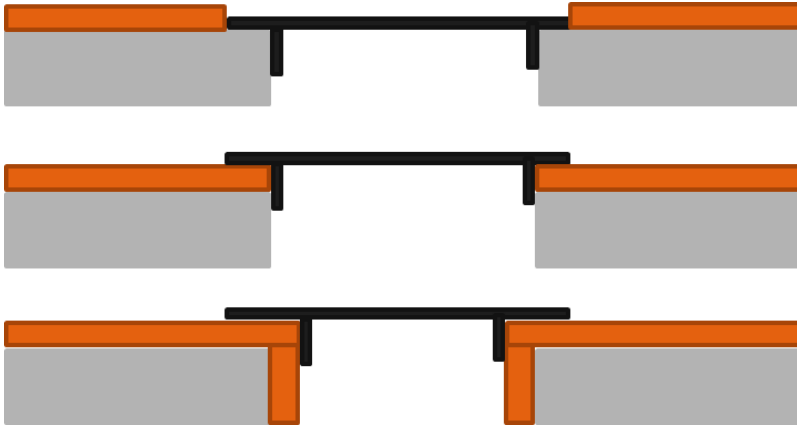
Onderzoek: Welke (nieuwe) pictogrammen vereist zijn dient te worden onderzocht.

Raakvlak/Onderzoek:

- Of de bevestiging van de pictogrammen met verankering door de brandwerende bekleding niet tot een te grote warmtestroom naar het betonoppervlak leidt dient te worden onderzocht.

3.7.3.7 Deuren en roosters naar technische ruimten

De kozijnen van de deuren naar de technische ruimten (2.5.12) bevinden zich vrijwel gelijk met de omliggende betonwand en betegeling. Hetzelfde geldt voor de roosters. Indien deuren en roosters een voldoende brandwerendheid hebben (dat is de niet bekend), dan is de achtergelegen dagkant van de sparing voldoende beschermd, afgezien van de locatie waar het kozijn zich bevindt. Indien de brandwerendheid van de deuren onvoldoende is, heeft de deur in ieder geval enige tijd een afschermende werking. Eventueel zou uit voorzorg de achtergelegen dagkant van de sparing kunnen worden voorzien van brandwerende bekleding. De roosters kunnen na aanbrengen van de brandwerende bekleding worden aangebracht op de brandwerende bekleding, zie ook Figuur 49 (in het midden en onderaan), waarmee de constructie beter is beschermd (en waarschijnlijk netter afgewerkt) dan wanneer om de roosters heen wordt gewerkt (Figuur 49 bovenaan). Merk op dat de doorlaat van de roosters voldoende groot moet blijven.



Figuur 49: Verschillende mogelijkheden detail rooster in buitenwand.

Raakvlak/Onderzoek:

- De brandwerendheid van de deuren en de roosters naar technische ruimten dient te worden onderzocht. De tunnelwet stelt dat de tunnelbuis een brandcompartiment is, dit stelt eisen aan de brandwerendheid.

3.7.3.8 Indicator brandalarm

De indicator van het brandalarm (2.5.13) dient te worden verwijderd om de brandwerende bekleding aan te brengen. Na aanbrengen van de brandwerende bekleding dient deze terug te worden geplaatst, indien gewenst of vereist.

De bevestiging van de indicator vindt waarschijnlijk met beperkte ankerdiameters plaats. Indien montage met ankerdiameters groter dan M8 plaatsvindt, dient te worden onderzocht of de bevestiging niet leidt tot een te grote warmtestroom naar het betonoppervlak.

Onderzoek: Of een indicator van het brandalarm nog vereist of gewenst is, dient te worden onderzocht.

Raakvlak/Onderzoek: Of de bevestiging van de indicator met verankering door de brandwerende bekleding niet tot een te grote warmtestroom naar het betonoppervlak leidt dient te worden onderzocht.

3.7.3.9 Kabelkanalen middenwand

Het achtergelegen beton en de kabelwegen (en installatieonderdelen) in de kabelkanalen ter plaatse van de middenwand (2.5.5.1) zijn uitgaande van de tekeningen afgeschermd door middel van een steenwolplaat met aan de tunnelzijde een stalen afdekplaat. De brandwerendheid hiervan is niet bekend, echter bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme is het waarschijnlijk dat de noodzakelijke brandwerendheid niet wordt behaald⁷.

De functie van de afdekplaten van de kabelkanalen is, waarschijnlijk, enerzijds het realiseren van functiebehoud voor de achterliggende bekabeling (en installatieonderdelen) en anderzijds (met de kennis van nu) het voorkomen van spatten van beton. Indien de brandwerendheid van de huidige afdekplaten onvoldoende is, dient extra bekleding te worden aangebracht. De aan te brengen (extra) bekleding dient dan uitneembaar te zijn. Uitgaande van brandwerende beplating (een gespoten bekleding is lokaal niet mogelijk), kan dit door middel van het toepassen van een ander type ankers. Daarnaast kan niet worden verankerd in de bestaande beplating. De aannemer dient een ankerplan te maken voor dit detail, rekening houdend met de maximale hart-op-hart afstanden van de ankers. Ook kan gekozen worden voor een ander type wandplaten op de betonnen console.

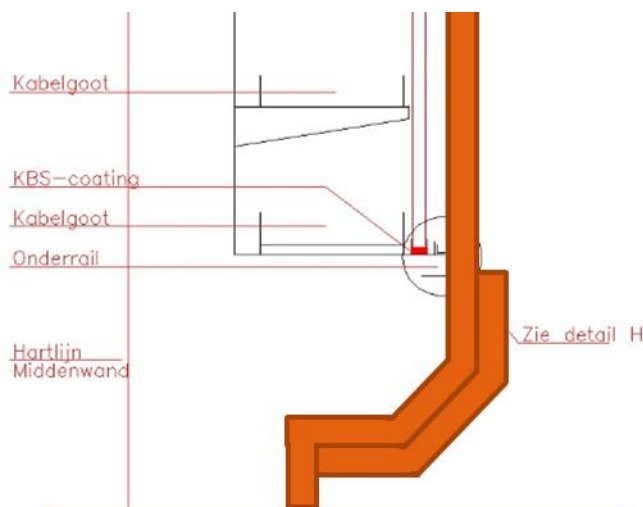
Voor de uitneembare beplating van deze kabelkanalen is de invloed van naden minder van belang (in ieder geval indien geen brandwerendheidseisen gelden ter bescherming van het kabelkanaal), omdat de beplating zich niet direct op het beton bevindt, maar voor de huidige stalen afdekplaten wordt aangebracht waardoor er op die posities direct achter de naden geen direct risico op afspringen is.

⁷ Merk op dat het bindmiddel in steenwol bij zeer hoge temperaturen (> 1200°C) desintegreert/smelt.

Merk op dat aan de onderzijde van het kabelkanaal sprake is van meerszijdige verhitting. Ondanks dat de onderzijde van het kabelkanaal voor de constructie waarschijnlijk niet van belang is, kan spatten hiervan leiden tot bezwijken van de afscherming van de kabelwegen en daarmee directe blootstelling van de kabelwegen en de achter de afdekplaten gelegen betonconstructie. Zie ook Figuur 50 voor een mogelijk principedetail met meerlaagse beplating voor deze specifieke situatie.

Raakvlak/Onderzoek:

- De brandwerendheid van de bestaande afdekconstructie van de kabelwegen ter plaatse van de middenwand dient te worden onderzocht, gericht op het realiseren van functiebehoud voor de achterliggende bekabeling⁸ (aangenomen is dat dit de bedoeling is) en het voorkomen van spatten van het achterliggend beton. Hierbij dient te worden uitgegaan van blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme.
- De mogelijk aan te brengen brandwerende bekleding dient uitneembaar te zijn ter plaatse van de kabelwegen in de middenwand.



Figuur 50 Principedetail meerlaagse beplating ter plaatse van meerszijdige verhitting onderzijde kabelkanaal.

3.7.3.10 Kabelweg in buitenwand

De brandwerende bekleding ter plaatse van de kabelwegen in de buitenwand (2.5.5.3) dient uitneembaar te zijn. Dit kan door middel van het toepassen van een ander type ankers (uitgaande van beplating, een gespoten bekleding is lokaal niet mogelijk). Daarnaast kan niet worden verankerd ter plaatse van de kabelgoot. Hiertoe dient de aannemer een ankerplan te maken voor dit detail, rekening houdend met de maximale hart-op-hart afstanden van de ankers.

Raakvlak: De brandwerende bekleding dient uitneembaar te zijn ter plaatse van de kabelwegen in de buitenwand.

3.7.4 Samenvatting geïdentificeerde raakvlakken

Samenvattend zijn in de vorige paragrafen de volgende (belangrijkste) raakvlakken geïdentificeerd die van belang zijn in de verdere uitwerking van het aanbrengen van brandwerende bekleding:

- Raakvlak brandwerende bekleding met profiel van vrije ruimte, wegprofiel en breedte vluchtroutes en vluchtpaden, rekening houdend met de te verwijderen tegels op de wanden.
- Raakvlak tunneltechnische installaties aangebracht op de brandwerende bekleding, met profiel van vrije ruimte, wegprofiel en breedte vluchtpaden, zoals signaalgevers.
- Raakvlak aanbrengen en inpassen brandwerende bekleding ter plaatse van installaties / voorzieningen die een onderbreking vormen van de brandwerende bekleding van de betonconstructie, zoals deursparingen, hulppostkasten en kasten energievoorziening.

⁸ Merk op dat de maximale kabeltemperatuur van niet-functiebehoud bekabeling maximaal zo'n 70°C tot 90°C bedraagt, waarmee dit maatgevend is ten opzichte van de temperatuur om spatten van beton achter de afdekplaten te voorkomen indien functiebehoud noodzakelijk is. Of functiebehoud noodzakelijk is volgt uit normen én een risicoanalyse van kritische functies.

- Raakvlak (goed geleidende) bevestigingen van installaties door de brandwerende bekleding heen met de isolerende functie van de bekleding, zoals tunnelventilatie en signaalgevers.
- Raakvlak afwerking van de wandbekleding met de tunnelverlichting (de benodigde verlichtingssterkte en het energieverbruik). Een goed afgestemde wandafwerking kan het energieverbruik van de verlichting reduceren.
- Raakvlak aanbrengen brandwerende bekleding ter plaatse van kabelwegen: deze dient uitneembaar te zijn, zodat de kabelwegen bereikbaar zijn voor toekomstige aanpassingen aan de installatie.
- Raakvlak aanbrengen brandwerende bekleding met de uiteinden van de huidige mantelbuizen in de wanden en het dak: deze dienen te kunnen worden gelokaliseerd en bereikbaar te blijven voor toekomstige aanpassingen aan de installaties.

Bij de uitwerking dienen deze raakvlakken nader te worden onderzocht, uitgewerkt en mogelijk afgestemd met het bevoegd gezag (indien niet aan alle eisen kan worden voldaan). Tevens is van belang de huidige en gewenste situatie met betrekking tot de brandcompartimentering en het functiebehoud bij brand (kabelkanalen en kasten energievoorziening) inzichtelijk te maken. Dit kan door een analyse te maken van het concept waarop het tunnelsysteem en de tunneltechnische installaties moeten functioneren. Door een NEN2767 analyse te maken wordt vervolgens de conditie van de asset wordt vastgelegd en daarmee de actuele toestand van de tunnel en tunnel technische installaties. Daarnaast is het van belang te onderzoeken welke installaties vereist zijn (en welke eisen hieraan worden gesteld) vanuit de wetgeving (Bouwbesluit en WARVW).

3.8 Trade-off matrix brandwerende bekleding en afwerking

3.8.1 Beoordelingsaspecten

Op basis van de voorgaande hoofdstukken, zijn naast de kosten de volgende beoordelingsaspecten van belang voor de brandwerende bekleding:

- **Brandwerendheid:** de beoogde brandwerendheid is minimaal 60 minuten bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme (uitgaande van de criteria in 3.3.2). Een hogere brandwerendheid komt voort uit het aspect **optimalisatie** (3.3.4), wat daarmee niet expliciet is benoemd.
- **Laagdikte bekleding:** gezien het huidige profiel van vrije ruimte en de breedte van de vluchtpaden ter plaatse van de middenwand is de beschikbare ruimte voor het aanbrengen van brandwerende bekleding beperkt (3.3.4 en 3.7.4).
- **Afwerkingsniveau:** gezien de ligging van de Stationspleintunnel is de afwerking van de tunnel van belang en waarschijnlijk ter goedkeuring door een landschapsarchitect (3.3.4).
- **Afwasbaarheid:** de wanden dienen nat te kunnen worden gereinigd (met een wandenwaswagen) (3.3.4).
- **Uitneembaarheid bekleding:** de mogelijkheid om de bekleding te verwijderen op plaatsen waar achtergelegen installaties (kabelwegen) bereikbaar dienen te zijn (3.7.4)
- **Mogelijkheid tot montage van TTI:** de mogelijkheid om componenten van installaties te monteren (3.4.3 en 3.7.4), feitelijk ook een aspect van toekomstbestendigheid.

3.8.2 Brandwerende bekleding

De verschillende opties voor brandwerende bekleding uit zijn samengebracht in Tabel 1. In de tabel zijn de volgende aspecten benoemd: indicatie kosten, opbouw, totale dikte, brandwerendheid, mogelijkheden TTI te monteren en de mogelijkheid een uitneembare bekleding te realiseren.

Tabel 1 Afwegingstabel opties brandwerende bekleding (exclusief verwijderen tegels en exclusief afwerking)

	Enkellaags beplating direct op beton	Dubbellaags beplating direct op beton	Enkellaags beplating op stroken	Gespoten bekleding
Indicatie kosten per m², exclusief verwijderen tegels, exclusief afwerking, inclusief aanbrengen	€ 85 - € 110	€ 150	€ 105	€ 225
Opbouw	Ondergrens: 22 tot 25 mm plaat Bovengrens: ~40 mm	15 + 20 mm plaat	15 mm strip + 30 mm plaat	36 mm gespoten
Totale dikte	Ondergrens: 22 tot 25 mm Bovengrens: ~40 mm	35 mm	45 mm	36 mm
Tijd tot bereiken criteria achter vlak	> 60 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	> 60 minuten
Tijd tot bereiken criteria achter naad	< 60 minuten*	> 120 minuten	> 120 minuten	n.v.t.
Montage TTI	Overall mogelijk	Overall mogelijk	Alleen op stroken	Vereist vaak lokaal verwijderen bekleding
Uitneembaar	Mogelijk met aangepaste ankers**	Mogelijk met aangepaste ankers**	Mogelijk met aangepaste ankers**	Niet mogelijk

* Dit hoeft nog niet tot spatten te leiden, echter de aantoonbaarheid dat een 'oplossing' voldoet aan de gestelde criteria is complex.

** Voor uitneembare beplating worden de kosten per m² in de raming verhoogd met € 40 bovenop de in de tabel genoemde kosten, omdat (afhankelijk van hoe vaak de plaat dient te worden verwijderd) mogelijk een specifieke afwerking van de platen benodigd/gewenst is. Voor de uitneembare beplating van de kabelkanalen ter plaatse van de middenwand kan overigens (lokaal) worden volstaan met een enkele laag beplating.

3.8.3 Afwerking

De verschillende opties voor afwerking van brandwerende bekleding zijn samengebracht in Tabel 2. In de tabel zijn de volgende aspecten benoemd: de wijze van aanbrengen, waarvoor het geschikt is, indicatie kosten, indicatie extra dikte, afwasbaarheid en typische toepassing.

Tabel 2 Afwegingstabel opties afwerking brandwerende bekleding.

	Geen afwerking	Keimen van de beplating	'Verven' van de plaat/bekleding	Transparante coating	Geïntegreerde afwerklaag	Extra laag beplating
Product afwerking	-	Keim	Color PA facade paint van Remmers Group AG	StoCryl van Sto AG Mapecoat SF 95 van MAPEI GmbH	Polyvision (onderdeel van Promatect-T-FX Deco)	Omeras
Wijze van aanbrengen	-	Achteraf	Achteraf	Achteraf	Geïntegreerd in product	Achteraf
Geschikt voor	n.v.t.	Promatect beplating; Gespoten bekleding	Aestuwer beplating	Aestuwer beplating	Promatect-T-FX beplating (dubbellaags of op stroken*)	Aestuwer beplating
Indicatie meerkosten per m²	-	€ 13 - € 20	Niet bekend	Niet bekend	€ 40	Niet bekend
Indicatie extra laagdikte	-	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	1,2 mm	Enkele cm
Afwasbaarheid	Niet	Wordt onderzocht	Niet bekend	Goed	Goed	Goed
Typisch toegepast als	Eventueel dak	Wand/Dak	Wand/Dak	Wand/Dak	Wand	Wand

* Bevestiging tussen de panelen

3.8.4 Combinaties brandwerende bekleding en afwerking

Voor de Promat-producten (door Promat is de meeste informatie aangeleverd met betrekking tot kosten en informatie van de producten) zijn combinaties gemaakt van brandwerende bekleding en afwerking. Deze combinaties zijn samengevat in Tabel 3, waarbij de aspecten kosten, laagdikte, brandwerendheid afwasbaarheid, mogelijkheden montage TTI zijn meegenomen. Deze combinaties zijn vervolgens gebruikt in de kostenraming. Merk op dat het ook mogelijk is *geen* afwerking toe te passen, dan zijn de gegevens in Tabel 1 van toepassing.

Tabel 3 Afwegingstabel combinaties brandwerende bekleding en afwerking.

	Minimale laagdikte enkel + Keim	Grotere laagdikte enkel + Keim	Dubbellaags + Keim	Dubbellaags + Polyvision	Enkellaags op stroken + Keim	Enkellaags op stroken+ + Polyvision	Gespoten bekleding + Keim
Brandwerende bekleding	Enkellaags beplating	Enkellaags beplating	Dubbellaags beplating	Dubbellaags beplating	Enkellaags beplating op stroken	Enkellaags beplating op stroken	Gespoten bekleding
Laagdikte en product in vergelijking	22 mm Promatect-T	40 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T-FX Deco	15 + 30 mm Promatect-T	15 + 30 mm Promatect-T-FX Deco	36 mm Fendolite MII
Product afwerking	Keim	Keim	Keim	Polyvision	Keim	Polyvision	Keim
Tijd tot bereiken criteria vlak	> 60 minuten	> 60 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	> 60 minuten
Tijd tot bereiken criteria naad	< 60 minuten*	< 60 minuten?*	> 120 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	> 120 minuten	n.v.t.
Wijze van aanbrengen afwerking	Achteraf	Achteraf	Achteraf	Geïntegreerd in product	Achteraf	Geïntegreerd in product	Achteraf
Extra laagdikte afwerking	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	1,2 mm	< 1 mm	1,2 mm	< 1 mm
Indicatie kosten per m² bekleding	€ 85	€ 110	€ 150	€ 150	€ 105	€ 105	€ 225
Indicatie kosten per m² afwerking	€ 13 - € 20	€ 13 - € 20	€ 13 - € 20	€ 40	€ 13 - € 20	€ 40	€ 13 - € 20
Indicatie kosten per m² geheel	€ 115	€ 130	€ 170	€ 190	€ 125	€ 145	€ 245
Dikte geheel	23 mm	41 mm	36 mm	36 mm	46 mm	46 mm	37 mm
Montage TTI	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Alleen op stroken	Alleen op stroken	Lokaal verwijderen bekleding
Uitneembaar	Mogelijk met aangepaste ankers	Mogelijk met aangepaste ankers	Mogelijk met aangepaste ankers	Mogelijk met aangepaste ankers	Mogelijk met aangepaste ankers	Mogelijk met aangepaste ankers	Niet mogelijk
Afwasbaarheid	Wordt onderzocht**	Wordt onderzocht**	Wordt onderzocht**	Goed	Wordt onderzocht**	Goed	Wordt onderzocht**
Typisch toegepast als	Wand/Dak	Wand/Dak	Wand/Dak	Wand	Wand/Dak	Wand	Wand/Dak

* Dit hoeft nog niet tot spatten te leiden, echter de aantoonbaarheid dat een 'oplossing' voldoet is complex.

** door fabrikant

4 KOSTENRAMING

Dit hoofdstuk vormt de onderbouwing van de kostenraming voor het brandwerend bekleden van de Stationspleintunnel te Leiden. In dit hoofdstuk zijn onder andere de uitgangspunten en onderbouwingen opgenomen. De raming is opgebouwd conform de StandaardSystematiek voor Kostenramingen (SSK). De scope van de SSK-raming betreft het opstellen van de kosten ten behoeve van investeringen. Het project bevindt zich in de schetsontwerpfase.

4.1 Inleiding

Op basis van Tabel 3 zijn varianten opgesteld voor de kostenraming. Hierbij is rekening gehouden met het alleen aanbrengen van een Promatect-T-FX Deco afwerking of keim op de wand (en niet op het dak) en het aanbrengen van uitneembare beplating op het kabelkanaal ter plaatse van de middenwand. Voor de uitneembare beplating is een enkellaags systeem voldoende. De uitwerking hiervan is weergegeven in Tabel 4. Merk op dat het ook mogelijk is het dak af te werken. Het afwerken van het dak met keim (of eventueel Promatect-T-FX Deco) is niet nader uitgewerkt.

Tabel 4 Uitgewerkte varianten kostenraming.

	Basis Minimale laagdikte enkel + Keim	Variant 1 Grotere laagdikte enkel + Keim	Variant 2* Dubbellaags + Keim	Variant 3* Dubbellaags + Polyvision	Variant 4 Enkellaags op stroken + Keim	Variant 5 Enkellaags op stroken+ + Polyvision	Variant 6 Gespoten bekleding + Keim
Brandwerende bekleding	Enkellaags beplating	Enkellaags beplating	Dubbellaags beplating	Dubbellaags beplating	Enkellaags beplating op stroken	Enkellaags beplating op stroken	Gespoten bekleding
Laagdikte en product in vergelijking	22 mm Promatect-T	40 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T/T- FX Deco	15 + 30 mm Promatect-T	15 + 30 mm Promatect-T/T- FX Deco	36 mm Fendolite MII**
Afwerking wanden	Keim	Keim	Keim	Polyvision	Keim	Polyvision	Keim
Afwerking dak	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
Beoogde brandwerend- heid	60 minuten	>60 minuten	120 minuten	120 minuten	120 minuten	120 minuten	60 minuten
Dikte geheel	23 mm	41 mm	36 mm	36 mm	46 mm	46 mm	37 mm

* Enkellaags beplating is voldoende voor de uitneembare beplating op het kabelkanaal ter plaatse van de middenwand.

Gerekend is met 40 mm enkellaags beplating Promatect-T.

** Uitgezonderd kabelkanaal ter plaatse van middenwand, daar is met 40 mm enkellaags beplating Promatect-T gerekend.

Voor de scope van de werkzaamheden wordt in alle varianten uitgegaan van het verwijderen van de tegels op de wand en het aanbrengen van de bekleding met afwerking. Het verwijderen en weer aanbrengen van de TTI (alsmede het testen hiervan) is buiten beschouwing gelaten, omdat hiervoor door de opdrachtgever reeds een raming is opgesteld. Het aanbrengen van de detaillering van de brandwerende bekleding ter plaatse van terug te plaatsen installaties is hierin niet meegenomen en moet nog wel worden toegevoegd.

4.2 Uitgangspunten uitvoering

4.2.1 Planning uitvoering

Uitgegaan wordt van uitvoering in de zomerperiode van 2022 of 2023.

4.2.2 Wijze van uitvoering werkzaamheden

Uitgangspunt is dat de werkzaamheden buis voor buis worden uitgevoerd en dat dit één langdurige buisafsluiting is per buis (24 uur per dag en 7 dagen in de week). Minimaal één van de buizen is dan ook langere tijd overdag gesloten. Deze werkwijze levert de kortste doorlooptijd op en zo kan er routinematig worden gewerkt en kunnen de technische installaties na (weer) aanbrengen van de bekleding eenmalig functioneel worden getest.

In hoeverre de werkzaamheden zelf ook 24/7 kunnen en mogen doorgaan (in plaats van alleen overdag) in verband met mogelijke (geluids)overlast voor de directe omgeving dient nader te worden onderzocht.

4.2.3 Indicatie doorlooptijd

Door een installateur van brandwerende beplating is aangegeven dat de werkzaamheden in ongeveer 4 weken (ongeveer 30 dagen) uitgevoerd kunnen worden bij 24 uur dienst gedurende 7 dagen per week bij twee tunnelbuizen buiten bedrijf, uitgaande van een enkellaags beplating. Bij uitvoering van het werk buis-voor-buis zal de doorlooptijd ongeveer 8 weken (ongeveer 60 dagen) bedragen, uitgaande van enkellaags beplating.

Het aanbrengen van een enkellaags beplating op stroken zal ongeveer 20% langer duren. Het aanbrengen van dubbellaags beplating zal ongeveer twee keer zo lang duren. De doorlooptijd van de spuitpleister is niet opgevraagd.

4.3 Ramingsuitgangspunten

4.3.1 Prijspeil, Valuta, Wet- en regelgeving

- Prijspeil 01 januari 2021;
- Alle bedragen genoemd in dit product zijn Euro;
- Exclusief BTW;
- Standlijn wet- en regelgeving 01 januari 2020.

4.3.2 Uitgangspunten SSK-raming Investering

Bij de raming van kosten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Raming is opgesteld conform de SSK 2010 systematiek (CROW publicatie 137);
- Deterministisch bedrijfseconomische uitgangspunten;
- Geen rekening gehouden met mogelijke marktwerving (positief of negatief) tijdens aanbesteding, noch is toegerekend naar een Opdrachtnemer (of aannemer);
- Bouwspecificaties:
 - Werkzaamheden worden 24/7 uitgevoerd;
 - Vrijkomende materialen zijn niet verontreinigd;
 - Uitvoering geschiedt in één fase;
 - Uitvoering conform ontwerpuitgangspunten;
 - Ondergrondse infrastructuur is niet nader onderzocht (bv kabels en leidingen, ondergrondse infrastructuur);
- De post “nader te detailleren” is op basis van vergelijkbare projecten ingeschat;
- De post “objectrisico (bouwkosten / engineeringskosten en overige bijkomende kosten)” is op basis van vergelijkbare projecten ingeschat;
- De post “objectoverstijgende risico” is op basis van vergelijkbare projecten ingeschat.

4.3.3 Uitsluitingen raming Investering

De volgende onderdelen worden niet meegenomen in de raming:

- Alle onderdelen niet genoemd in de raming;
- Vervangen TTI;
- Afsluitingskosten voor de tunnel;
- Vastgoedkosten;
- Opdrachtgeverskosten;
- Onzekerheidsreserve;
- Reserve extern onvoorzien;
- Exploitatiekosten;
- Onderhoudskosten.

4.3.4 Risicomanagement

Risico's zijn ingeschat op basis van kostenexpertise van vergelijkbare projecten. Risicosessies hebben niet plaats gevonden en risico's zijn niet gekwalificeerd of gekwantificeerd.

4.3.5 Werkwijze SSK-raming

Voor het opstellen van de raming is gebruik gemaakt van tekeningen van de tunnel en de scope zoals beschreven in dit rapport. Daarnaast zijn de prijzen voor het aanbrengen en leveren van de Promatect-T beplating opgevraagd in de markt. Meer over de gehanteerde uitgangspunten is te vinden in Bijlage A.

In de raming zijn de verschillende varianten geraamd zoals beschreven in 4.1.

4.4 Ramingsresultaten

Onderstaande kostenoverzichten geven de ramingen van de totale projectkosten weer behorende bij de in dit rapport aangegeven scope en uitsluitingen. In Bijlage B is de volledige raming te vinden.

4.4.1 Resultaten

Tabel 5 geeft de resultaten per variant:

- De investeringskosten voor de basisvariant (excl. BTW) bedragen € 3.080.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 2.618.000 en € 3.542.000.
- De investeringskosten voor variant 1 (excl. BTW) bedragen € 3.690.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 3.136.500 en € 4.243.500.
- De investeringskosten voor variant 2 (excl. BTW) bedragen € 4.790.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 4.224.500 en € 5.715.500.
- De investeringskosten voor variant 3 (excl. BTW) bedragen € 5.460.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 4.454.000 en € 6.026.000.
- De investeringskosten voor variant 4 (excl. BTW) bedragen € 3.610.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 3.068.500 en € 4.151.500.
- De investeringskosten voor variant 5 (excl. BTW) bedragen € 3.880.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 3.298.000 en € 4.462.000.
- De investeringskosten voor variant 6 (excl. BTW) bedragen € 5.610.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 4.768.500 en € 6.451.500.

Tabel 5 Samenvatting deterministische investeringsraming

	INVESTERINGKOSTEN						
	Basisvariant: Enkellaags 22mm T + keim	Variant 1: Enkellaags 40mm T + keim	Variant 2: Dubbellaags 15+20T + keim	Variant 3: Dubbellaags 15+20T + Polyvision	Variant 4: Enkel op stroken 30T op 15 + keim	Variant 5: Enkel op stroken 30T op 15 + Polyvision	Variant 6: Gespoten + keim
Bouwkosten	€ 2.556.512	€ 3.058.808	€ 4.126.010	€ 4.348.996	€ 2.996.686	€ 3.219.673	€ 4.660.750
Vastgoedkosten	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Engineeringskosten	€ 102.260	€ 122.352	€ 165.040	€ 173.960	€ 119.867	€ 128.787	€ 186.430
Overige bijkomende kosten	€ 144.443	€ 172.823	€ 226.931	€ 239.195	€ 169.313	€ 177.082	€ 254.011
Subtotaal investeringskosten	€ 2.803.215	€ 3.353.983	€ 4.517.981	€ 4.762.151	€ 3.285.866	€ 3.525.541	€ 5.101.191
Objectoverstijgende risico's	€ 280.322	€ 335.398	€ 451.798	€ 476.215	€ 328.587	€ 352.554	€ 510.119
Afronding	-€ 3.537	€ 619	€ 221	€ 1.634	-€ 4.453	€ 1.904	-€ 1.310
Investeringskosten exclusief BTW	€ 3.080.000	€ 3.690.000	€ 4.970.000	€ 5.240.000	€ 3.610.000	€ 3.880.000	€ 5.610.000
Bandbreedte: met 70% zekerheid liggen de investeringskosten exclusief BTW tussen	€ 2.618.000 en € 3.542.000	€ 3.136.500 en € 4.243.500	€ 4.224.500 en € 5.715.500	€ 4.454.000 en € 6.026.000	€ 3.068.500 en € 4.151.500	€ 3.298.000 en € 4.462.000	€ 4.768.500 en € 6.451.500
Variatiecoëfficiënt	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%

4.4.2 Risico's

In deze voorontwerpstudie zijn geen risicosessies gehouden. Een risicodossier maakt geen deel uit van de opdracht. De risico's zijn door middel van percentages ingeschat.

4.5 Conclusie

De investeringskosten voor de basisvariant (excl. BTW) bedragen € 3.080.000. De bandbreedte hierbij ligt, met een zekerheid van 70%, tussen € 2.618.000 en € 3.542.000.

Als er voor dikkere enkellaags beplating wordt gekozen (variant 1), nemen de investeringskosten ongeveer € 610.000 toe. Als wordt gekozen voor dubbellaags beplating (variant 2 en 3), dan nemen de investeringskosten € 1.890.000 toe. Als wordt gekozen voor enkellaags beplating op stroken (variant 4 en 5), dan nemen de investeringskosten ongeveer € 530.000 toe.

Als gekozen wordt voor een afwerking op de wanden met Polyvision in plaats van keimen (variant 3 en 5), dan nemen de investeringskosten ongeveer € 270.000 toe ten opzichte van de variant met afwerking keimen.

Als gekozen wordt voor gespoten afwerking en keimen (variant 6), dan nemen de investeringskosten ongeveer € 2.530.000 toe. Deze variant is het duurste van de beschouwde varianten.

5 SAMENVATTING

Uit de resultaten van de in de Stationspleintunnel uitgevoerde hitteproeven volgt dat, indien sprake is van de wettelijk voorgeschreven normbelasting bij brand, vroegtijdig bezwijken (binnen 30 minuten) ter plaatse van de brand kan optreden bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme. Op basis van de uitgevoerde hitteproeven zijn ontwerpcriteria voor brandwerende bekleding vastgesteld waarmee een brandwerend systeem kan worden ontworpen zodanig dat een brandwerendheid van 60 minuten wordt gerealiseerd bij blootstelling aan de Rijkswaterstaatbrandkromme.

De (belangrijkste) raakvlakken met het aanbrengen van brandwerende bekleding zijn geïdentificeerd:

- Raakvlak brandwerende bekleding met profiel van vrije ruimte, wegprofiel en breedte vluchtroutes en vluchtpaden, rekening houdend met de te verwijderen tegels op de wanden.
- Raakvlak tunneltechnische installaties aangebracht op de brandwerende bekleding, met profiel van vrije ruimte, wegprofiel en breedte vluchtpaden, zoals signaalgevers.
- Raakvlak aanbrengen en inpassen brandwerende bekleding ter plaatse van installaties / voorzieningen die een onderbreking vormen van de brandwerende bekleding van de betonconstructie, zoals deursparingen, hulppostkasten en kasten energievoorziening.
- Raakvlak (goed geleidende) bevestigingen van installaties door de brandwerende bekleding heen met de isolerende functie van de bekleding, zoals tunnelventilatie en signaalgevers.
- Raakvlak afwerking van de wandbekleding met de tunnelverlichting (de benodigde verlichtingssterkte en het energieverbruik).
- Raakvlak aanbrengen brandwerende bekleding ter plaatse van kabelwegen: deze dient uitneembaar te zijn, zodat de kabelwegen bereikbaar zijn voor toekomstige aanpassingen aan de installatie.
- Raakvlak aanbrengen brandwerende bekleding met de uiteinden van de huidige mantelbuizen in de wanden en het dak: deze dienen te kunnen worden gelokaliseerd en bereikbaar te blijven voor toekomstige aanpassingen aan de installaties.

Bij de verdere uitwerking dienen deze raakvlakken nader te worden onderzocht, uitgewerkt en mogelijk afgestemd met het bevoegd gezag (indien niet aan alle eisen kan worden voldaan). Tevens is van belang de huidige en gewenste situatie met betrekking tot de brandcompartimentering en het functiebehoud bij brand (kabelkanalen en kasten energievoorziening) inzichtelijk te maken. Dit kan door een analyse te maken van het concept waarop het tunnelsysteem en de tunneltechnische installaties moeten functioneren. Door een NEN2767 analyse te maken wordt vervolgens de conditie van de asset vastgelegd en daarmee de actuele toestand van de tunnel en tunnel technische installaties. Daarnaast is het van belang te onderzoeken welke installaties vereist zijn (en welke eisen hieraan worden gesteld) vanuit de wetgeving (Bouwbesluit en WARVV).

Tenslotte zijn mogelijke uitvoeringsvarianten en afwerking van brandwerende bekleding geanalyseerd en uitgewerkt tot een schetsontwerp en raming. Voor de verschillende uitvoeringsvarianten is een trade-off matrix opgesteld waarin naast de kosten de beoordelingsaspecten brandwerendheid, laagdikte bekleding, afwerkingsniveau, afwasbaarheid, uitneembaarheid bekleding en mogelijkheid tot montage installaties zijn opgenomen. Op basis van de kosten voor de verschillende uitvoeringsvarianten, is een raming opgesteld voor het voorzien van de wanden en het dak van de Stationspleintunnel van deze uitvoeringsvarianten, met de opmerking dat de afwerking van wanden/dak kan verschillen. In Tabel 6 is een samenvatting gegeven van de uitgewerkte varianten voor de kostenraming, inclusief de afwegingsaspecten.

Tabel 6 Resultaten uitgewerkte opties kostenraming.

	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
	Minimale laagdikte enkel + Keim	Grotere laagdikte enkel + Keim	Dubbellaags + Keim	Dubbellaags + Polyvision	Enkellaags op stroken + Keim	Enkellaags op stroken+ + Polyvision	Gespoten bekleding + Keim
Brandwerende bekleding	Enkellaags beplating	Enkellaags beplating	Dubbellaags beplating	Dubbellaags beplating	Enkellaags beplating op stroken	Enkellaags beplating op stroken	Gespoten bekleding
Laagdikte en product in vergelijking	22 mm Promatect-T	40 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T	15 + 20 mm Promatect-T/T-FX Deco	15 + 30 mm Promatect-T	15 + 30 mm Promatect-T/T-FX Deco	36 mm Fendolite MII*
Afwerking wanden	Keim	Keim	Keim	Polyvision	Keim	Polyvision	Keim
Afwerking dak	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
Beoogde brandwerendheid	60 minuten	>60 minuten	120 minuten	120 minuten	120 minuten	120 minuten	60 minuten
Dikte geheel	23 mm	41 mm	36 mm	36 mm	46 mm	46 mm	37 mm
Investeringskosten	€ 3.080.000	€ 3.690.000	€ 4.9700.000	€ 5.240.000	€ 3.610.000	€ 3.880.000	€ 5.610.000
Montage TTI	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Overal mogelijk	Alleen op stroken	Alleen op stroken	Lokaal verwijderen bekleding
Afwasbaarheid wand	Wordt onderzocht	Wordt onderzocht	Wordt onderzocht	Goed	Wordt onderzocht	Goed	Wordt onderzocht

* Uitgezonderd kabelgoot, daar is 40 mm enkellaags beplating Promatect-T toegepast.

6 VERWIJZINGEN

- [1] Leander Noordijk, Coen van der Vliet, „Arcadis rapport 083856251:A Brandwerendheid Stationspleintunnel,” 30 september 2019.
- [2] Efectis Nederland BV, „2020-Efectis-R001151 - Hitteproeven Stationspleintunnel 2020, week 24,” juli 2020.
- [3] Arcadis, „D10009785 Beproevingstrategie hitteproeven Stationspleintunnel,” 31 augustus 2020.
- [4] Coen van der Vliet, „D10013117:4 - Stationspleintunnel Leiden - Sterkte bij spatten,” juli 2020.
- [5] Rijkswaterstaat/Efectis, „Efectis-R0695:2020 Fire testing procedure for concrete tunnel linings and other tunnel components,” September 2020.
- [6] NEN, „NEN-EN 1992-1-2 + C1:2011 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand,” 01-11-2011.

BIJLAGE A RAMINGSUITGANGSPUNTEN KOSTENRAMING

Investeringskosten

Alle kosten die nodig zijn om het bouwproject te voltooien duidt men aan als investeringskosten.

Bouwkosten

Bouwkosten kunnen verdeeld worden in directe en indirecte kosten. De directe bouwkosten zijn de kosten voor het fysiek bouwen van het ontwerp. Deze werkzaamheden worden uitgevoerd door of één Opdrachtnemer of in zijn opdracht in onderaanneming. De indirecte kosten worden als percentages opgenomen en zijn een toeslag op de directe kosten.

Directe kosten

Voor de bouwkosten zijn de volgende werkzaamheden meegenomen:

Basisvariant

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen enkellaags Promatect-T platen
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen keimlaag op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 1

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen enkellaags Promatect-T platen
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen keimlaag op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 2

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen dubbellaags Promatect-T platen
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen keimlaag op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 3

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen dubbellaags Promatect-T platen
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen Polyvision op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 4

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen enkellaags Promatect-T platen op stroken
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen keimlaag op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 5

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen enkellaags Promatect-T platen op stroken
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen Polyvision op wanden
- Aanbrengen brandwerende kitnaden

Variant 6

- Verwijderen tegelbekleding
- Aanbrengen Fendolite
- Aanbrengen uitneembare beplating (op de kabelgoot)
- Aanbrengen keimlaag op wanden

Prijzen voor het leveren en aanbrengen van de Promatect-T beplating zijn opgevraagd op de markt. Hierbij is rekening gehouden met de scope van de varianten zoals hierboven in het rapport beschreven.

In de prijs die voor de beplating wordt gerekend is aangepast op de verschillende varianten. Andere prijzen komen uit vergelijkbare projecten.

Nader te detailleren

De volgende onderdelen zijn opgenomen bij het nader te detailleren (niet uitputtend):

- Passend maken speciale platen;
- Strips over kabels;
- Afwerkingen.

Tabel 7 Bepaling en toelichting percentages nader te detailleren

Gehanteerd percentage	Motivatie
10,00%	Percentage passend bij het uitwerkingsniveau van en het type project

Indirecte kosten

De percentages die zijn gehanteerd zijn per variant opgenomen en worden hier doorgerekend. In onderstaande tabel staan de gehanteerde percentages genoemd. Daarnaast is gekeken naar de absolute bedragen van de indirecte kosten. De absolute waarden (en dus plausibiliteit van de gehanteerde percentages) worden door de kostenramer als passend geacht bij dit type werk van deze omvang.

Onderstaande tabel met percentages indirecte kosten is van toepassing voor de varianten.

Tabel 8 Bepaling en toelichting percentages Indirecte kosten

Indirecte kosten	Gehanteerd percentage	Motivatie
Eenmalige kosten	3,00%	Percentage passend bij het type werk
Uitvoerings- en algemene bouwplaatskosten	6,00%	Percentage passend bij het type en de locatie van het werk
Coördinatie kosten en opslag hoofdaannemer over onderaannemer	2,00%	Percentage passend bij het type werk
Algemene kosten	8,00%	Percentage passend bij het type en de grootte van het project
Winst	3,00%	Percentage passend bij bedrijfseconomische raming
Risico	3,00%	Percentage passend bij bedrijfseconomische raming

Objectrisico bouwkosten

Onderstaande tabel met percentages objectrisico's is van toepassing voor de varianten.

Tabel 9 Bepaling en toelichting percentages objectrisico's

Gehanteerd percentage	Motivatie
10,00%	Percentage passend bij het type werk en uitwerkingsniveau van de scope

Vastgoedkosten

Vastgoedkosten zijn niet opgenomen in de raming. De werkzaamheden vinden op eigen terrein van de opdrachtgever plaats.

Engineeringskosten

Onderstaande tabel met percentages engineeringkosten is van toepassing voor de varianten.

Tabel 10 Bepaling en toelichting percentages engineeringkosten

Soort	Gehanteerd percentage	Motivatie
Aannemer	1,50%	Het werk vereist relatief weinig engineering van de aannemer
Adviesbureau	2,50%	Percentage passend bij het type werk en het uitwerkingsniveau van de scope

Objectrisico engineeringkosten

Onderstaande tabel met percentages objectrisico's is van toepassing voor de varianten.

Tabel 11 Bepaling en toelichting percentages objectrisico's

Gehanteerd percentage	Motivatie
10,00%	Percentage passend bij het type werk en uitwerkingsniveau van de scope

Overige bijkomende kosten

Bij het bepalen van de overige bijkomende kosten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Tabel 12 Bepaling en toelichting percentages Overige Bijkomende Kosten

Overige bijkomende kosten	Gehanteerd percentage	Motivatie
Leges kosten (%)	2,20-2,40%	Percentage passend bij de grootte van het project en de regelgeving van de gemeente
Verzekeringspremies (CAR, ontwerp, aanspakeijkheid, e.d) opdrachtnemer	0,75%	Percentage passend bij het type werk
Overige Bijkomende Kosten (%)	2,50%	Percentage passend bij het werk

- Kosten voor leges en heffingen en verzekeringspremie zijn exclusief BTW.

Objectrisico overige bijkomende kosten

Onderstaande tabel met percentages objectrisico's is van toepassing voor de varianten.

Tabel 13 Bepaling en toelichting percentages objectrisico's

Gehanteerd percentage	Motivatie
10,00%	Percentage passend bij het type werk en uitwerkingsniveau van de scope

Objectoverstijgende risico's

Onderstaande tabel met percentages objectoverstijgende risico's is van toepassing.

Tabel 14 Bepaling en toelichting percentages objectoverstijgende risico's

Gehanteerd percentage	Motivatie
10,00%	Percentage passend bij het type werk en uitwerkingsniveau van de scope

BIJLAGE B KOSTENRAMING

Zie: 20210115 Kostenraming Stationspleintunnel Leiden vA

COLOFON

BRANDWERENDE BEKLEDING STATIONSPLEINTUNNEL UITVOERINGSVARIANTEN - SCHETSONTWERP EN KOSTENRAMING

KLANT

Gemeente Leiden

AUTEUR

Else Dieleman, Leander Noordijk

PROJECTNUMMER

D06021.000007.0300

ONZE REFERENTIE

D10014894:68

DATUM

4 maart 2021

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Bart Duijvestijn
Hoofd Adviesgroep Tunnels

VRIJGEGEVEN DOOR

Leander Noordijk
Senior Adviseur

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland
+31 (0)88 4261261

www.arcadis.com