



**Haalbaarheidsstudie
dubbelsporige
boortunnel
Deel 1 : Risico analyse
gebruiksfase**

Datum	Oktober 1999
Ons kenmerk	KKN/R/990309
Bestand	RISICO 1.DOC
Opsteller	Karlineke Knaap
Status	Definitief
Fase	Deel 1
Gecontroleerd	-
Goedgekeurd	-
Geautoriseerd	-

Voorwoord

Voor u ligt het eindresultaat van mijn afstudeerproject in opdracht van de Projectorganisatie HSL-Zuid, cluster boortunnel, Projectbureau "Boortunnel onder het Groene Hart" te Utrecht.

Mijn afstudeerrapport bestaat uit drie delen. In het eerste deel is een risicoanalyse uitgevoerd in de gebruiksfase. Hierin wordt een afweging gemaakt tussen verschillende indelingen voor een dubbelsporige boortunnel. Met name wordt hierbij gekeken naar veiligheid. Een vergelijking wordt gemaakt tussen het referentie ontwerp en de dubbelsporige boortunnel.

In het tweede deel is een risicoanalyse in de uitvoeringsfase uitgevoerd. Hierin is wederom een vergelijking gemaakt tussen het referentie ontwerp en een dubbelsporige tunnel met betrekking tot de risico's in de uitvoeringsfase.

In het derde deel is een risicoaspect, het ontwerp van de lining, verder uitgewerkt. In dit laatste deel is de dubbelsporige boortunnel doorgerekend met verschillende modellen. Hierbij is de breedte en de dikte van de segmenten gevarieerd.

Graag maak ik van deze gelegenheid gebruik om een aantal mensen te bedanken. Ten eerste wil ik mijn afstudeercommissie bedanken voor de begeleiding gedurende mijn afstuderen, prof. dr ir J.C. Walraven, prof. drs ir J.K. Vrijling, ir W.L. Leendertse, ir M.P. Oude Essink en dr ir C. van der Veen.

Verder wil ik de collega's bedanken van het boortunnel team, in het bijzonder Klaas voor het nakijken en de goede tips, Erik voor de discussies en het helpen met het ANSYS programma, Predrag voor de positieve ondersteuning en Ed voor de vele kopjes koffie. Verder wil ik mijn ouders bedanken voor de steun gedurende mijn studies en speciaal mijn moeder voor het vele nakijkwerk.

Karlineke Knaap
Utrecht, oktober 1999

Samenvatting

Dit rapport vormt het eerste deel van de haalbaarheidsstudie naar een dubbelsporige boortunnel. Gekeken is naar de haalbaarheid van een dubbelsporige tunnel, één buis waar twee sporen doorheen lopen, ten opzichte van het referentie ontwerp, twee buizen met elk een spoor met dwarsverbindingen. In dit eerste deel is gekeken naar de gebruiksfase van de tunnel.

Bij de gebruiksfase van de tunnel wordt ten eerste gedacht aan de veiligheid. Zeker door de branden in tunnels de laatste jaren wordt de eerste vraag: Is een buis met twee sporen wel veilig?

Voor verschillende indelingen van de dubbelsporige tunnel is de mate van veiligheid bepaald. Hierbij is gekeken naar een dubbelsporige boortunnel met tussenwand, een dubbelsporige boortunnel met twee afgesloten vluchtgangen aan de zijkanten van het spoor, een dubbelsporige boortunnel met een afgesloten vluchtgang onder de sporen, een dubbelsporige boortunnel met vluchtschachten om de 2000 meter, een dubbelsporige boortunnel met selectieve rookafzuiging en een dubbelsporige boortunnel met een veilige haven in het midden van de tunnel.

Deze verschillende indelingen zijn met elkaar vergeleken voor verschillende gebeurtenissen. De belangrijkste gebeurtenissen zijn brand, botsing, ontsporing, ongevallen tijdens werkzaamheden aan de infrastructuur, aanrijding en een combinatie van gebeurtenissen.

Brand wordt gezien als de belangrijkste gebeurtenis. Bij brand is gekeken naar het vluchtgedrag van de passagiers, de brandweer en de hulpverlening. De belangrijkste effecten van brand zijn de warmte ontwikkeling, de rookontwikkeling en intoxicatie. Hiervan vormt intoxicatie het grootste gevaar gedurende het vluchtproces van de passagiers. De passagiers zijn in het geval van brand volledig afhankelijk van zelfredzaamheid. Daarom is met name van belang, dat de passagiers snel een 'veilige ruimte' bereiken. Dit is een ruimte, bijvoorbeeld een afgesloten vluchtgang, waarbij de passagiers niet meer in contact met de brand kunnen komen.

Voor de brandweer is het belangrijkste criterium, dat de brand snel bereikt wordt door middel van een aparte ruimte. Voor de hulpverlening is met name de ruimte in de tunnel van belang, om eerste hulp te verlenen.

Hierbij dient opgemerkt te worden, dat de kans op brand zeer klein is, doordat op het HSL-tracé alleen passagierstreinen zullen gaan rijden zonder vrachtwagon. Indien toch brand optreedt in de trein, zal de kans dat de trein vervolgens in de tunnel stopt, zeer klein zijn.

Bij botsing en ontsporing is het van belang, dat voldoende ruimte aanwezig is in de tunnel voor de hulpverlening om eerste hulp te verlenen en de passagiers op te vangen. Bij ontsporing is gekeken of hierbij de mogelijkheid bestaat om op het tweede spoor te belanden, zodat tevens kans op botsing ontstaat. Bij werken aan de infrastructuur is gekeken of het tweede spoor voor treinverkeer gebruikt kan worden zonder een gevaar op te leveren voor het instandhoudingspersoneel.

De verschillende indelingen van de dubbelsporige boortunnel zijn vergeleken op basis van bovenstaande gebeurtenissen. Hieruit is gebleken, dat een dubbelsporige boortunnel met een scheidingswand in het midden 'veiliger' is, dan het referentie ontwerp.

Op basis van veiligheid kan gesteld worden, dat een dubbelsporige boortunnel met een scheidingswand tussen de sporen een haalbaar alternatief is ten opzichte van het referentie ontwerp.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	6
1.1	Probleemomschrijving	6
1.2	Doelstelling	7
1.3	Fasering	7
1.4	Leeswijzer	7
2	PROJECT HSL ZUID.....	8
2.1	De oorsprong van de HSL.....	8
2.2	Het tracé.....	9
2.3	Projectbureau boortunnel 'Groene Hart'	10
2.4	Het referentie ontwerp.....	11
2.5	De planning.....	11
3	BESCHRIJVING ALTERNATIEVEN VOOR DE HSL TUNNEL ONDER "HET GROENE HART"	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Beschrijving referentie ontwerp.....	12
3.3	Beschrijving DOT tunnel	12
3.4	Beschrijving alternatieven voor dubbelsporige tunnel.....	13
4	GEBRUIKSFASE TUNNEL	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Risico's met betrekking tot de tunnel	16
4.3	Vergelijking.....	18
4.4	Veiligheid	19

5	HOOFDGEBEURTENIS BRAND	20
5.1	Inleiding	20
5.2	Ontstaan van brand	22
5.3	Brandvermogen	23
5.4	Warmte ontwikkeling	24
5.5	Rookontwikkeling	25
5.6	Ontwikkeling toxische stoffen	26
5.7	Vluchtsnelheid passagiers.....	27
5.8	Gebeurtenissen bij brand.....	29
5.9	Vluchtproces bij brand	30
5.10	Conclusie brand.....	34
6	HOOFDGEBEURTENIS BOTSING	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Ontstaan van en botsing	35
6.3	Systeembeschrijving botsing	36
7	HOOFDGEBEURTENIS ONTSPORING	37
7.1	Inleiding	37
7.2	Oorzaak van ontsporing	38
7.3	Procesbeschrijving ontsporing	39
8	OVERIGE GEBEURTENISSEN	40
8.1	Hoofdgebeurtenis aanrijding bij werken aan infrastructuur	40
8.2	Hoofdgebeurtenis aanrijding	41
8.3	Hoofdgebeurtenis elektrocutie	41
8.4	Combinatie van risico's.....	41
8.5	Drukgolven	42

9	VERGELIJKING VERSCHILLENDE ALTERNATIEVEN.....	43
9.1	Inleiding	43
9.2	Alternatief 1 , dubbelsporige buis met tussenwand.....	43
9.3	Vluchtproces alternatief 2, Dubbelsporige tunnel met twee vluchtgangen	45
9.4	Vluchtproces alternatief 3, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang tussen de sporen	46
9.5	Vluchtproces alternatief 4, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang onder de sporen .	47
9.6	Vluchtproces alternatief 5, Dubbelsporige tunnel met vluchtschachten	48
9.7	Vluchtproces alternatief 6, Dubbelsporige tunnel met een selectieve rookafzuiging	49
9.8	Vluchtproces alternatief 7, Dubbelsporige tunnel met veilige haven.....	49
9.9	Vluchtproces Referentie ontwerp.....	50
9.10	Vluchtproces DOT tunnel.....	51
9.11	Overzicht	52
10	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	55
	DOCUMENTENOVERZICHT	57

BIJLAGEN:

Bijlage A	:	Referentie ontwerp
Bijlage B	:	DOT tunnel
Bijlage C	:	Dwarsdoorsnede varianten Dubbelsporige boortunnel
Bijlage D	:	Vergelijking verschillende boortunnels
Bijlage E	:	Beschrijving branden in tunnels in de afgelopen drie jaar (Beschrijving brand in de Kanaaltunnel, Mont-Blanc tunnel en Tauerntunnel)
Bijlage F	:	Vluchttijden passagiers m.b.t. afstand dwarsverbinding en breedte looppad
Bijlage G	:	Vluchttijden intoxicatie

Terminologie

Dwarsverbindingen:

In het referentie ontwerp worden twee tunnels geboord naast elkaar. Tussen deze twee tunnels worden verbindingen aangebracht. Deze verbinding wordt gerealiseerd door vanuit de ene tunnel loodrecht op de tunnelrichting een buis aan te brengen, die uitkomt in de andere tunnel. Door deze dwarsverbinding kunnen passagiers van de ene tunnel naar de andere tunnel lopen indien een calamiteit zich voordoet.

Vluchtdeur

Aan het begin en het eind van een dwarsverbinding wordt een deur aangebracht. Dit wordt een vluchtdeur genoemd. Door deze vluchtdeur kunnen passagiers van de ene tunnel de dwarsverbinding bereiken en vervolgens aan het eind van de dwarsverbinding door de tweede vluchtdeur de tweede buis bereiken. Indien sprake is van een dubbelsporige tunnel dan wordt bij het alternatief met een tussenwand op regelmatige afstanden in die wand een vluchtdeur aangebracht, waardoor de passagiers van de ene kant van de tunnel naar de andere kant, het tweede spoor kunnen bereiken. Indien er een vluchttunnel in de tunnel aanwezig is, zijn er ook vluchtdeuren in deze vluchttunnels aangebracht, waardoor passagiers van de tunnel de vluchtgang kunnen bereiken.

De treinen hebben ook deuren, deze worden treindeuren genoemd.

Veilige zone

De passagiers bevinden zich in een veilige zone indien de passagiers niet meer in direct contact staan met het gebied waar de trein zich bevindt. Bij een brand houdt dit in dat de passagiers zich in een ruimte bevinden waar geen rook of vuur kan komen en waar ze relatief veilig de vluchtschacht kunnen bereiken.

Dit kan zijn een tweede spoortunnel, het tweede spoor afgescheiden door een wand of een vluchtgang.

Vluchtgang

Dit zijn gangen die in de tunnel zijn aangebracht en die een afgescheiden ruimte vormen van de tunnel. De vluchtgang wordt ook gezien als veilige zone.

Vluchtschacht

De vluchtschachten welke worden aangebracht om de 2000 meter zijn verbindingen naar het maaiveld toe. In deze vluchtschacht is een trap en een brandlift aanwezig om passagiers naar het oppervlak te brengen waar de passagiers zich pas echt veilig wanen. Tevens zijn de vluchtschachten voor hulpverleners aangebracht om af te dalen in de tunnel om de brand te blussen.

Vluchtpad

Vluchtpaden zijn paden langs het spoor. Deze paden staan wel in directe verbinding met het spoor. Het zijn paden waarover passagiers kunnen vluchten richting de vluchtdeuren of richting de vluchtschachten.

Afkortingen:

DST	Dubbel Sporige Tunnel
HST	Hoge Snelheids Trein
HSL	Hoge Snelheids Lijn
DVB	Dwars VerbindDing
DOT	Double - O - Tube
RO	Referentie Ontwerp

1 Inleiding

De Nederlandse regering vindt dat Nederland aangesloten moet worden op het Europese net van hogesnelheidslijnen. In mei 1994 heeft het kabinet gekozen voor een nieuwe lijn tussen Amsterdam en de Belgische grens. Amsterdam, Schiphol en Rotterdam hebben dan een hogesnelheidsverbinding met Brussel, Londen en Parijs.

Het ministerie van Verkeer & Waterstaat heeft NS Railinfrabeheer opdracht gegeven voor de planuitwerking en de engineering van de hogesnelheidslijn tussen Amsterdam en de Belgische grens. NS Railinfrabeheer heeft daarvoor twee ingenieursbureaus ingeschakeld, te weten DHV Milieu en Infrastructuur en Holland Railconsult. Deze vier partijen vormen samen de projectorganisatie HSL-Zuid. NS Railinfrabeheer, DHV en Holland Railconsult vormen samen de projectorganisatie HSL-Zuid Infra.

Het 'Groene Hart' is vanwege zijn natuurlandschappelijke waarde zo belangrijk voor de Nederlandse Maatschappij, dat de politiek besloten heeft in het gedeelte tussen Hazerswoude-Dorp en Leiderdorp een boortunnel aan te leggen met een lengte van ongeveer zeven kilometer. Voor een boortunnel is gekozen om zo min mogelijk verstoring tijdens de bouw en de exploitatie van de lijn te geven.

De hogesnelheidstrein zal met 300 km/uur door de tunnel gaan rijden. Hierdoor ontstaan drukgolven in de tunnel, die onaangenaam kunnen zijn voor de passagiers in de trein. Om de reis voor de passagiers zo aangenaam mogelijk te laten verlopen dient voldoende vrije ruimte aanwezig te zijn in de tunnel zodat de drukgolven niet voelbaar meer zijn in de trein. Daarom zal de diameter van de geboorde tunnel onder "het Groene Hart" groter zijn dan bij treintunnels waarin treinen komen te rijden met een minder grote snelheid.

Indien bij de boortunnel onder het "Groene Hart" een dubbelsporige boortunnel wordt toegepast, dat wil zeggen een tunnel met een buis waar twee paar sporen in komen te liggen, ontstaat een tunnel met een diameter van rond de 15 meter. Wereldwijd bestaat weinig ervaring met een geboorde tunnel van deze afmeting. In dit afstudeeronderzoek, haalbaarheidsstudie dubbelsporige boortunnel, zal onderzocht worden waar de risico's liggen bij een grote diameter tunnel en of een dubbelsporige boortunnel een haalbaar alternatief is voor de tunnel onder het 'Groene Hart'.

1.1 Probleemomschrijving

Voor de Hoge Snelheidslijn onder het 'Groene Hart' worden drie varianten bekeken. Deze zijn achtereenvolgens het referentie ontwerp, een boortunnel met twee enkelsporige buizen, een DOT-tunnel of een dubbelsporige boortunnel. De laatste variant heeft een diameter van ongeveer 15 meter, hiermee is wereldwijd nog niet veel ervaring. De vraag bij deze variant is dan ook of de risico's door deze grotere diameter veel groter zullen zijn dan bij het referentie ontwerp. Om deze vraag te beantwoorden wordt gekeken naar de risico's die zich voordoen bij de uitvoering van de tunnel en in de gebruiksfase. Om de haalbaarheid van een tunnel met een grote diameter te toetsen en een vergelijking tussen de alternatieven te maken worden de risico's vertaald naar bouwtijd van de tunnel.

1.2 Doelstelling

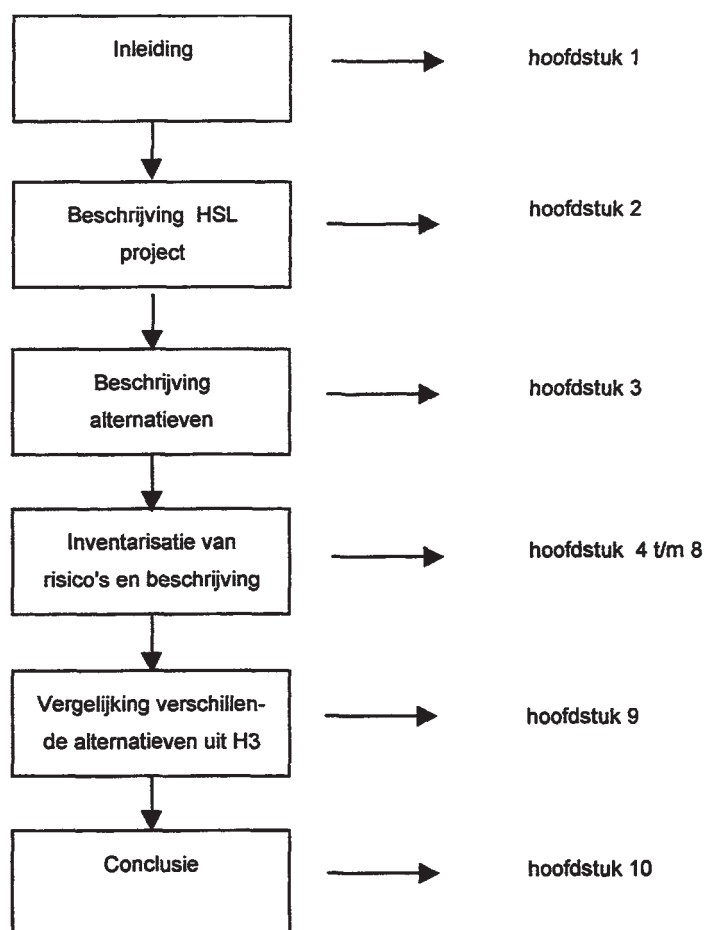
Onderzoeken naar de haalbaarheid van een dubbelsporige boortunnel t.o.v het referentie-ontwerp, een dubbele enkelsporige boortunnel, op basis van risico en bouwtijd.

1.3 Fasering

Dit is de eerste fase van het afstudeerwerk, de risico-analyse in de gebruiksfase. In deel 2 is een risicoanalyse gemaakt van de uitvoeringsfase. Hierin wordt een vergelijking gemaakt tussen het referentie ontwerp en de dubbelsporige tunnel met betrekking tot de risico's. In deel 3 is een risico-item uit deel 2 verder uitgewerkt; het ontwerp van de lining.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het project HSL-Zuid belicht. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de mogelijke indelingen voor een dubbelsporige tunnel. In hoofdstuk 4 worden kort de risico's aangeduid met betrekking tot de tunnel zelf en de risico's met betrekking tot de veiligheid in de tunnel. De risico's met betrekking tot de veiligheid worden uitgebreid behandeld in de volgende hoofdstukken, brand in hoofdstuk 5, botsing in hoofdstuk 6, ontsporing in hoofdstuk 7 en de overige risico's in hoofdstuk 8. In hoofdstuk 9 worden de verschillende alternatieven vergeleken en in hoofdstuk 10 worden de conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.



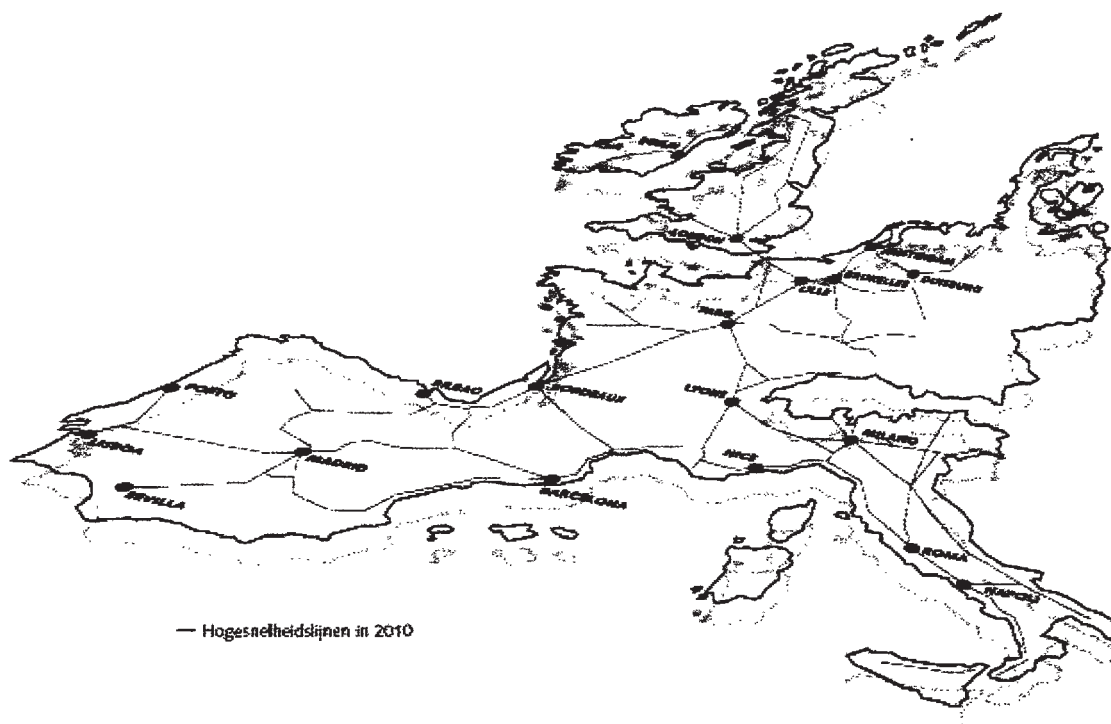
2 Project HSL zuid

2.1 De oorsprong van de HSL

Frankrijk was het eerste Europese land met een hoge snelheidslijn. Dat was in 1982, sindsdien hebben Italië, Duitsland, Spanje, Engeland en Zweden ook een hoge snelheidslijn. De afzonderlijke initiatieven van de verschillende landen zijn gekoppeld toen de Europese Commissie met een uitgewerkt voorstel kwam voor een nieuw Trans Europees Network. In het verdrag van Maastricht werd in 1991 vastgelegd hoe de Europese Unie de totstandkoming van zo'n Trans Europees Network stimuleert. De komende twintig jaar komt er in Europa een net dat de belangrijkste steden met elkaar verbindt. Volgens de huidige plannen wordt de omvang van dat net 12.500 kilometer nieuwe hogesnelheidslijn en 14.000 kilometer aangepast spoor.

Voor een Europa zonder grenzen is een goede infrastructuur nodig. Uit de Milieu-effectenrapportage, die in opdracht van de Europese Commissie is gemaakt in 1993, blijkt dat het netwerk van hogesnelheidslijnen een grote verschuiving veroorzaakt tussen de verschillende vervoersmiddelen. In dit rapport komt naar voren dat het aandeel spoor zal toenemen en het aandeel vervoer per vliegtuig of auto zal afnemen in Europa, wat een gunstig effect heeft op het milieu en het potentiële aantal verkeersslachtoffers.

Nederland wil hiervan meeprofiten. Om haar concurrentie positie te versterken en te behouden is het noodzakelijk dat Nederland een volwaardige aansluiting krijgt op het Europese netwerk van hogesnelheidslijnen. Aansluiting op het Europese netwerk brengt de reiziger naar het Zuiden, naar Parijs, Londen en verder of naar het oosten naar Duitsland en midden-Europa.



Figuur 2.1 Europees netwerk van hogesnelheidslijnen in 2010

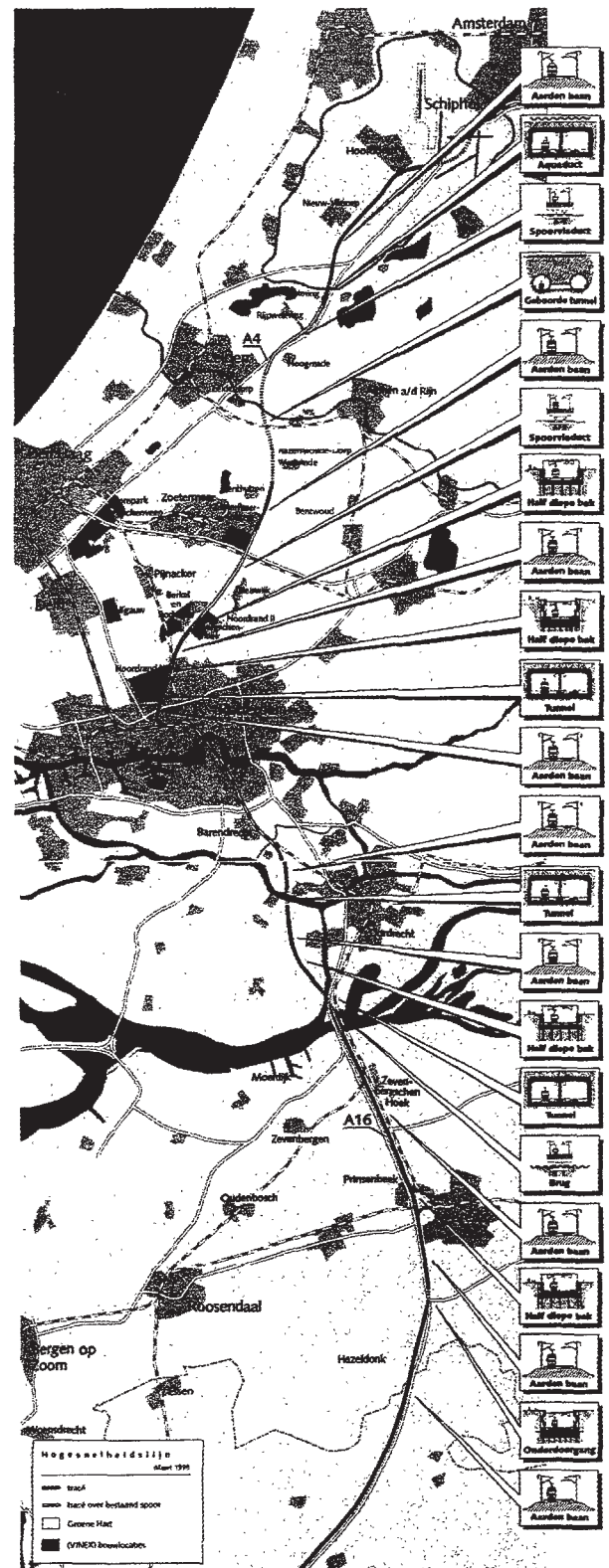
2.2 Het tracé

Een hogesnelheidstrein kan snelheden van maximaal 300 km/uur halen. Indien de hogesnelheidstrein met een lagere snelheid rijdt, kan de trein over het huidige spoor rijden. Aangezien het huidige spoor steeds voller wordt, is gekozen voor een nieuw tracé voor de hoge snelheidstrein.

Het totale tracé voor de hoge snelheidslijn is door het kabinet vastgesteld in mei 1996. Het is circa 100 km lang en loopt van Amsterdam naar de Belgische grens.

In verband met de veiligheid is in het gehele tracé geen gelijkvloerse kruising. Daarom worden er circa 170 tunnels, viaducten, aquaducten, bruggen, pergola's en fly-overs aangelegd. In figuur 2.2 is het tracé te zien van de hogesnelheidslijn, hierbij is aangegeven welke kunstwerken op welke plaats worden aangelegd.

Het tracé kruist het gebied "Het Groene Hart". Dit gebied is vanwege zijn natuur- en landschappelijke waarde zo belangrijk voor de Nederlandse maatschappij, dat de politiek heeft besloten hier een tunnel aan te leggen met een lengte van ongeveer 7 km. De tunnel begint ten zuiden van Bent, in polder de Noordplas en loopt tot Hazerswoude-Dorp. Om overlast tijdens de bouw zoveel mogelijk te voorkomen, is gekozen voor een geboorde tunnel in plaats van een gegraven tunnel. Hierdoor blijven de aantasting van het landschap, geluidsoverlast en belasting van het milieu tot een minimum beperkt. Bovendien vindt geen onomkeerbare vernietiging plaats van natuur- en landschappelijke waarden.

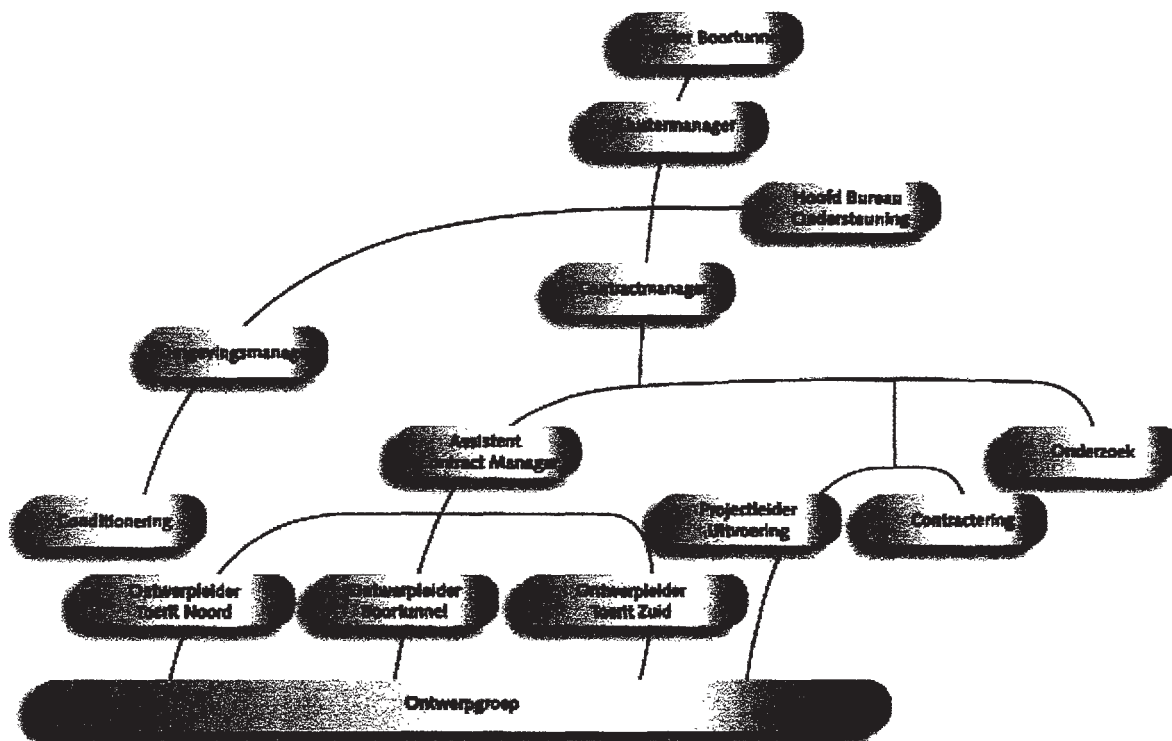


Figuur 2.2 Overzicht tracé HSL Zuid met kunstwerken

2.3 Projectbureau boortunnel 'Groene Hart'

Het Projectbureau is opgebouwd uit medewerkers van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat Bouwdienst en regionale directie Zuid-Holland, DHV, Holland Railconsult en NS-RIB. Het projectbureau boortunnel Groene Hart is verantwoordelijk voor:

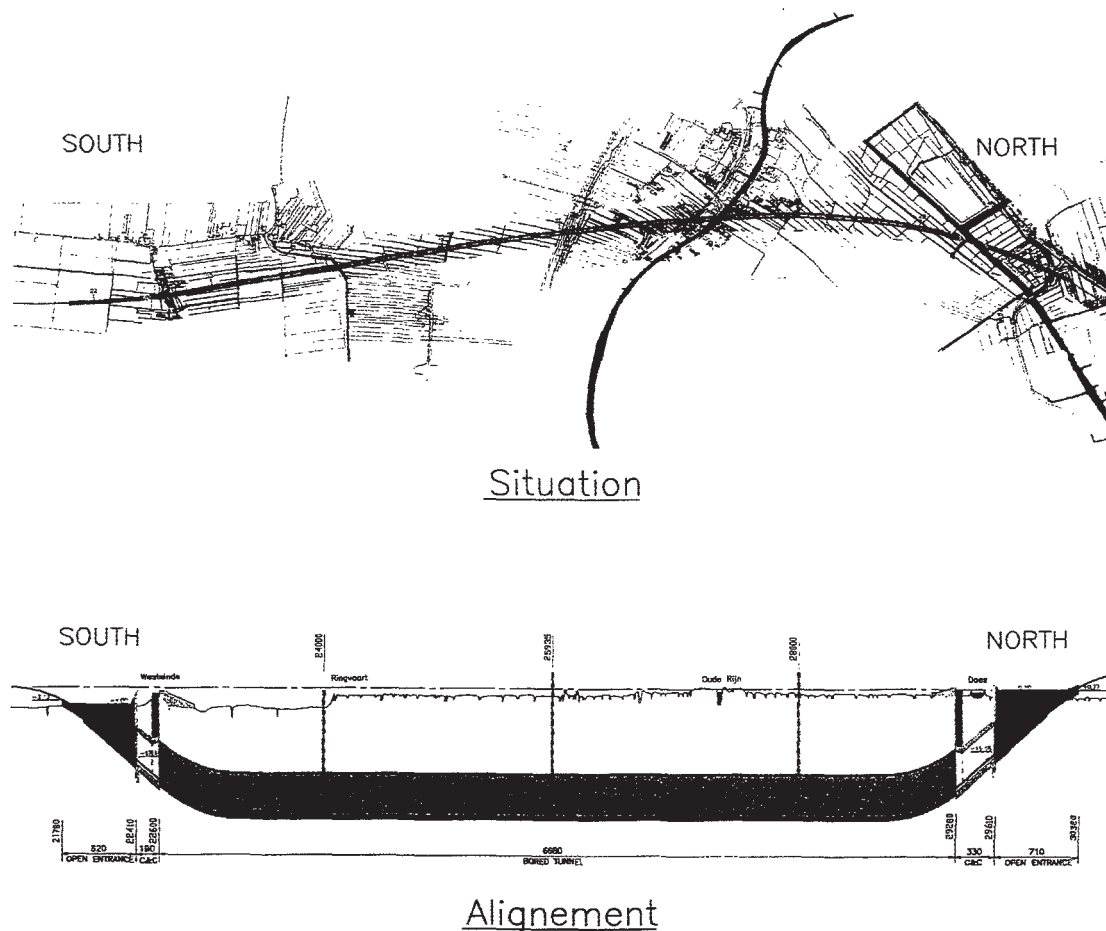
- Voorbereiding en begeleiding van ontwerp en uitvoering van de boortunnel inclusief tunneltechnische installaties.
- Scheppen van de benodigde randvoorwaarden voor realisatie
- Communicatie over het ontwerp en bouwproces met de omgeving en andere betrokkenen en het scheppen van voldoende raakvlak in de omgeving
- Voorbereiding van onderhoud voor een periode van vijf tot tien jaar na oplevering.



Figuur 2.3 Projectbureau Boortunnel

2.4 Het referentie ontwerp

Het referentie ontwerp voor de boortunnel onder het Groene Hart bestaat uit twee boorbuizen met een binnendiameter van 9,54 meter. Dwarsverbindingen worden aangebracht om de 300 meter. Voor de geboorde tunnel wordt uit gegaan van twee machines met een slurry schild, die elk 7010 meter boren. Voor de dwarsverbindingen wordt uitgegaan van een combinatie van vriezen en grotten. Er zullen 21 dwarsverbindingen worden aangebracht tussen beide boorbuizen. Om de 2000 meter wordt een vluchtschacht aangebracht, die een verbinding maakt tussen de tunnel en het maaiveld. De schachten worden gebouwd als pneumatisch afgezonken caissons. De diepte van de schachten zal ongeveer 37 meter bedragen. De toerit noord krijgt een lengte van 690 meter en de toerit zuid een lengte van 810 meter.



Figuur 2.4 Boveraanzicht en dwarsdoorsnede van het referentie ontwerp

2.5 De planning

Volgens de planning kan gestart worden met de werkzaamheden in november 1999. Het boren is gepland in het najaar van 2000. Voor het boren is drie jaar uitgetrokken, hierbij is aangenomen dat er 12,5 meter per dag geboord gaat worden. De bouw van de dwarsverbindingen zullen volledig geïntegreerd worden in het bouwproces. In mei 2004 moet de onderbouw opgeleverd worden voor de aanleg van de bovenbouw. De bovenbouw zijn de installaties in de tunnel die nodig zijn voor de hoge snelheidstrein. De oplevering van de boortunnel is gepland op 31 december 2005.

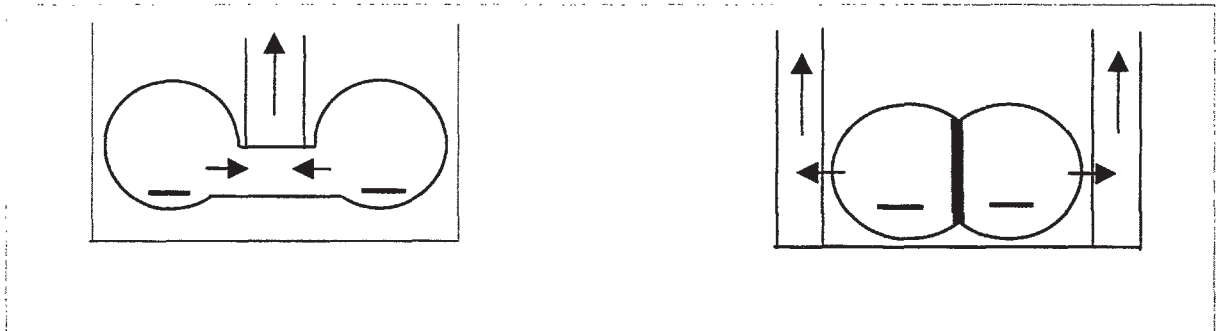
3 Beschrijving alternatieven voor de HSL tunnel onder "Het Groene Hart"

3.1 Inleiding

Om een haalbaar alternatief te ontwerpen in de vorm van een dubbelsporige boortunnel zal eerst de indeling van de tunnel bepaald worden. In dit hoofdstuk worden de verschillende alternatieven beschreven. Eerst wordt de indeling van het referentie-ontwerp en de DOT-tunnel beschreven waarna mogelijke indelingen voor de dubbelsporige tunnel aan de orde komen.

3.2 Beschrijving referentie ontwerp

Het referentie ontwerp bestaat uit twee geboorde tunnels, die onderling worden verbonden door dwarsverbindingen. Per tunnelbuis is één spoor aanwezig. De binnendiameter van de tunnels is 9,54 en de buitendiameter is 10,44 meter. De afstand tussen twee buizen is ongeveer één keer de diameter. Om de 300 meter wordt een dwarsverbinding aangebracht, zodat in het geval van een calamiteit de passagiers door deze dwarsverbinding kunnen vluchten naar de veilige tweede buis. In deze dwarsverbinding is een ruimte van 2,4 bij 2,3 meter aangebracht waardoor de passagiers de andere buis kunnen bereiken. Om de 2000 meter wordt er een vluchtschacht aangebracht. De passagiers kunnen door deze vluchtschachten het maaiveld bereiken. De vluchtschachten hebben een diepte van ongeveer 25 meter. Voor de indeling van de tunnel is gekozen voor een vluchtpad aan beide zijden van het spoor.



Figuur 3.1 Referentie ontwerp en DOT tunnel

3.3 Beschrijving DOT tunnel

Een DOT tunnel is een tunnel, waarbij beide buizen elkaar overlappen en gelijktijdig door een machine worden geboord. De hoogte van de tunnel is 10,4 meter en de breedte van de tunnel is 17,9 meter [8]. De scheiding tussen de twee sporen wordt verzorgd door een scheidingswand. In deze wand zijn vluchtdeuren aangebracht zodat de passagiers in het geval van een calamiteit kunnen vluchten van de ene buis naar de andere buis. Bij de DOT tunnel wordt ook om de 2000 meter een vluchtschacht aangebracht, deze vluchtschacht heeft dezelfde diepte als de vluchtschacht van het referentie ontwerp. De diepte van de vluchtschacht bedraagt ongeveer 35 meter.

3.4 Beschrijving alternatieven voor dubbelsporige tunnel

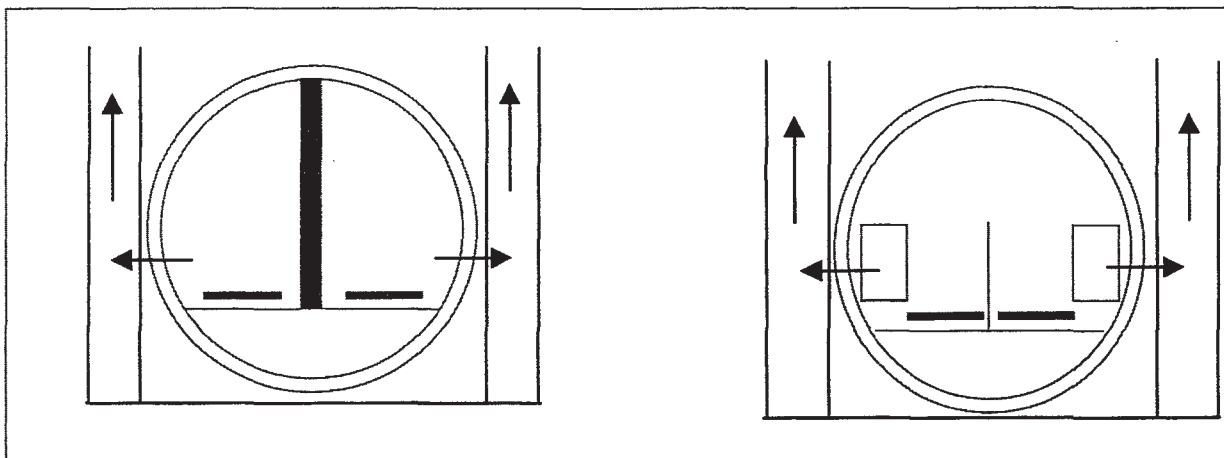
Bij een enkelsporige boortunnel is de indeling bepaald. Er is een enkel spoor, een looppad langs het spoor en op regelmatige afstanden wordt er een dwarsverbinding aangebracht. Voor de dubbelsporige tunnel zijn er vele variaties mogelijk voor de indeling [9,10]. Hieronder volgt een opsomming van mogelijke indelingen voor de dubbelsporige tunnel. Deze varianten zullen daarna met elkaar vergeleken worden om tot een optimale indeling van de tunnel te komen.

Alternatief 1, Dubbelsporige tunnel met tussenwand

De dubbelsporige tunnel wordt voorzien van een scheidingswand tussen beide sporen. Op deze manier ontstaan er twee gescheiden buizen. De scheidingswand dient goed af te sluiten tegen brand, explosies en gevaarlijke gassen. Deze scheidingswand dient ook sterk genoeg te zijn om een aanrijding of botsing te kunnen verdragen. Door in deze scheidingswand op regelmatige afstand deuren te plaatsen kan in geval van een noodsituatie gevlucht worden van de ene helft van de tunnel naar de andere helft en kan het tweede spoor dienen als vluchttunnel. Dit alternatief lijkt qua indeling op de DOT tunnel. De afstand tussen de vluchtdeuren is variabel, doordat eenvoudig meerdere vluchtdeuren kunnen worden aangebracht in de scheidingswand. Naast de sporen worden vluchtpaden aangebracht. De vluchtschachten worden net zoals bij het referentie-ontwerp om de 2000 meter aangebracht. Een dubbelsporige tunnel zal een grotere diameter hebben dan een enkelsporige tunnel, waardoor de tunnel dieper komt te liggen [11]. Dit houdt in dat de vluchtschachten voor dit alternatief dieper worden dan bij het referentie ontwerp.

Alternatief 2: Dubbelsporige tunnel met twee vluchtgangen aan de zijkant

Bij dit alternatief worden aan beide zijden van de tunnel vluchtgangen aangebracht. Door aan beide zijden een vluchtgang aan te brengen hoeven de passagiers de rails niet over te steken om bij de vluchtschacht te komen. De vluchtschachten worden om de 2000 meter aangebracht en de diepte van de vluchtschacht zal gelijk zijn aan de diepte bij alternatief 1. De vluchtgangen dienen wel voldoende breed te zijn voor de passagiers om te vluchten en voor de hulpverleners om slachtoffers te vervoeren en hulp te verlenen. De vluchtgangen zijn 1,2 meter breed en er wordt om de 150 meter een vluchtdeur in aangebracht.



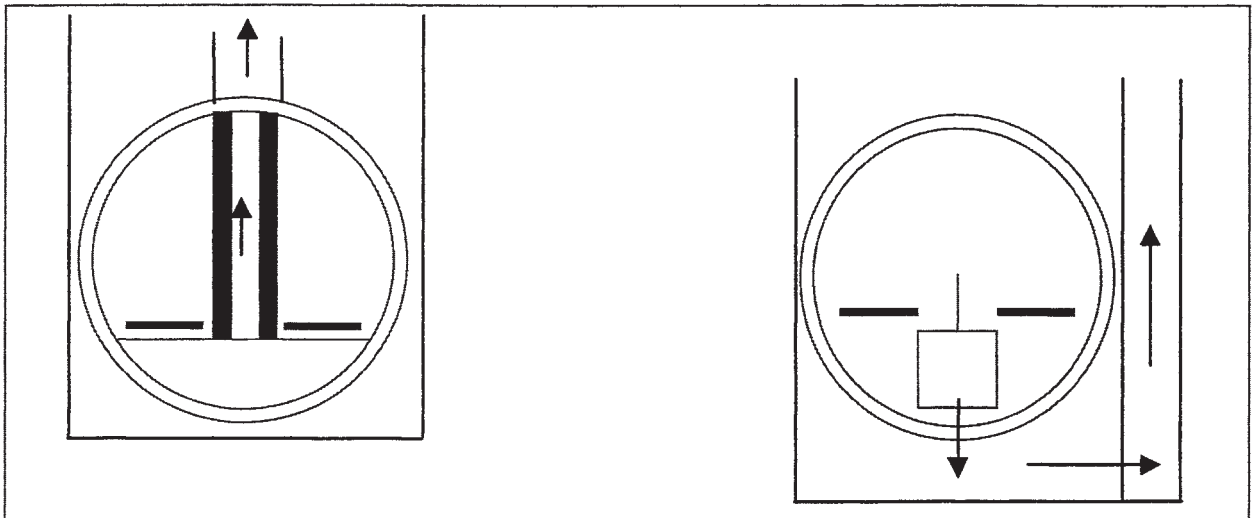
Figuur 3.2, Alternatief 1 en 2, Dubbelsporige tunnel met tussenwand en met twee vluchttunnels

Alternatief 3, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang tussen de sporen

Bij dit alternatief worden twee tussenwanden geplaatst. Hierdoor ontstaat een aparte vluchtgang in het midden tussen de twee sporen. Tevens is er een mogelijkheid om vanuit de vluchtgang de vluchtschacht te betreden zodat het spoor niet overgestoken hoeft te worden en de vluchtschachten minder diep hoeven te worden uitgevoerd ten opzichte van de andere alternatieven voor de dubbelsporige tunnel. De vluchtgang krijgt een breedte van 2,4 meter en de vluchtdeuren kunnen variabel aangebracht worden.

Alternatief 4, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang onder het spoor

Bij dit alternatief is onder de sporen ruimte om een aparte vluchtgang aan te brengen. Om de 150 meter wordt er een vluchtdeur aangebracht die toegang verleent naar de vluchtgang. De vluchtgang dient voldoende breed te zijn voor passagiers om te kunnen vluchten en voor hulpverleners om slachtoffers te vervoeren en hulp te verlenen. De vluchttunnel krijgt een breedte van 2,4 meter. De vluchtschachten zullen bij dit alternatief dieper zijn dan bij de andere alternatieven omdat vanuit de vluchtgang naar onder toe de vluchtschacht wordt bereikt.

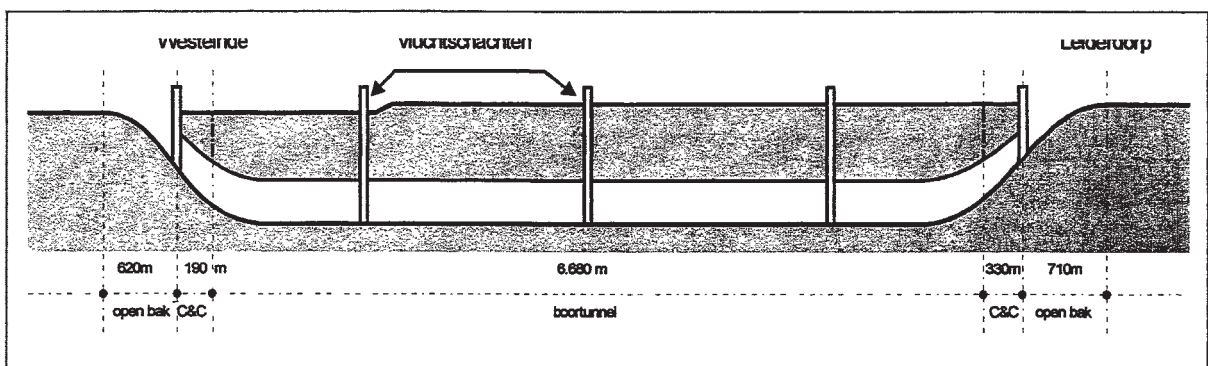


Figuur 3.3, Alternatief 3 en 4, Dubbelsporige tunnel met vluchttunnel tussen de sporen en onder de sporen

Alternatief 5, Dubbelsporige tunnel met vluchtschachten

In de dubbelsporige tunnel worden looppaden aan beide zijden langs de rails aangebracht en op regelmatige afstanden een verbinding gecreëerd naar het maaiveld toe. Deze verbinding, de vluchtschacht, wordt niet om de 300 meter maar om de 2000 of 1000 meter aangebracht.

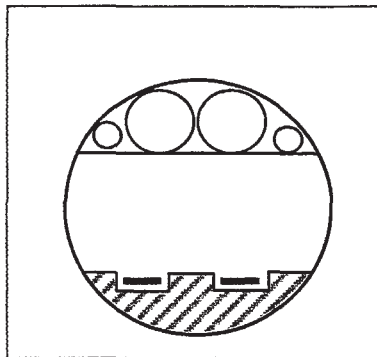
Deze vluchtschachten hebben dezelfde diepte als de vluchtschachten bij alternatief 1.



Figuur 3.4 Alternatief 5 en 6, de vluchtschachten zijn gesitueerd als bij het referentie ontwerp

Alternatief 6, Dubbelsporige tunnel met een goede rookafzuiging

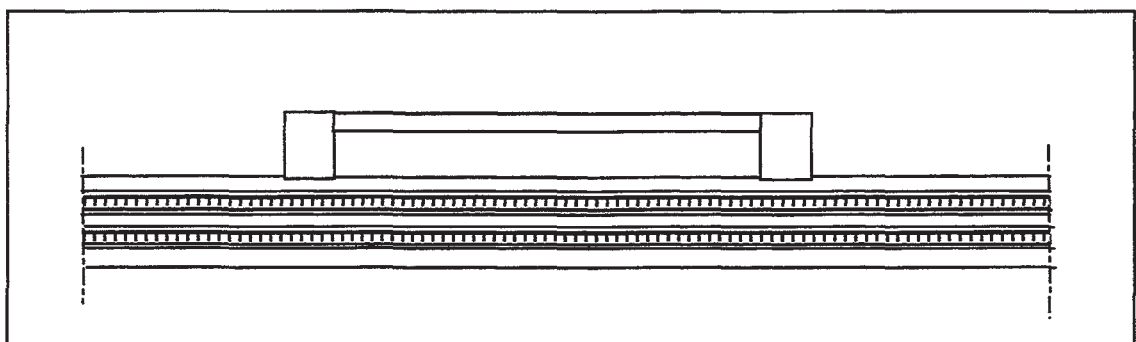
Een vluchtschacht naar het maaiveld toe wordt aangebracht om de 2000 meter. Dit is voldoende indien er in de tunnel genoeg ruimte is voor vluchtpaden langs het spoor. Er dient een ventilatie aangebracht te worden boven de sporen, waarbij alle rook die vrij komt bij een brand direct wordt opgezogen en verse lucht de tunnel wordt ingeblazen. Hierdoor hebben de slachtoffers geen last van de rook en kunnen ongestoord de tunnel verlaten. Wel dient hierbij rekening gehouden te worden met hittevorming in de tunnel gedurende een brand. Ook de hitte dient geregeld te worden, zodat slachtoffers de maximale afstand van 2000 meter kunnen afleggen.



Figuur 3.5 Schets, alternatief 6, dubbelsporige tunnel met selectieve rookafzuiging

Alternatief 7, Dubbelsporige tunnel met veilige haven

Bij dit alternatief wordt in het midden van de tunnel een veilige haven aangebracht, waar een gecontroleerde stop kan plaatsvinden. Een veilige haven wordt in het midden van de tunnel aangebracht, het is een soort ondergronds station, op deze plaats is de tunnel verbreed en zijn alle voorzieningen om brand te bestrijden en slachtoffers te helpen aanwezig. Er is hier ook een toegang naar het maaiveld toe, zodat passagiers direct naar boven kunnen worden gebracht en er direct reddingswerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd van boven af.



Figuur 3.6 Schets alternatief 7, dubbelsporige tunnel met veilige haven

4 Gebruiksfase tunnel

4.1 Inleiding

De levensduur van de tunnel onder het Groene Hart is gesteld op 100 jaar. Deze periode dient de tunnel 'mee' te gaan. Hiermee wordt bedoeld, dat treinen met 300 km/uur veilig door de tunnel kunnen rijden. Dit kan op twee manieren problemen opleveren. Enerzijds ontstaan risico's met betrekking tot de tunnel zelf. Anderzijds ontstaan risico's met betrekking tot de veiligheid.

4.2 Risico's met betrekking tot de tunnel

De onderstaande risico's zijn risico's in de eindfase met betrekking tot de tunnel. Deze risico's worden hier kort aangegeven, deze zullen echter niet verder worden uitgewerkt in dit rapport.

Duurzaamheid

De boortunnel is ontworpen op een levensduur van 100 jaar. Het is mogelijk, dat bijvoorbeeld door fouten in het ontwerp of fouten in de uitvoering van de tunnel, deze levensduur niet wordt gehaald. Hierdoor kan voortijdig lekkage in de tunnel ontstaan, ontoelaatbare vervorming van de tunnel waardoor lekkage kan optreden of zelfs instorten van de tunnel te wege brengt.

Uitwendige belastingen

De tunnel is berekend op alzijdige gronddruk. Het is mogelijk, dat deze gronddruk in de loop van de tijd verandert. Door verandering van de belasting op de tunnel kan een belastingcombinatie ontstaan waardoor de tunnel bezwijkt. Op dit moment is het Groene hart een beschermd gebied, maar het is mogelijk dat dit in de komende 100 jaar verandert.

De uitwendige belastingen kunnen veranderen door ontgravingen boven of naast de tunnel of juist door grondophoging.

Verandering van de grondwaterstand kan optreden door toepassing van bemaling of door verandering van de waterhuishouding in Nederland.

Door de bouw van huizen of bedrijven kunnen extra belastingen ontstaan op de tunnel.

De grond kan gedeeltelijk ontlast worden door de aanleg van nabijgelegen tunnels, door de aanleg van funderingen, aanbrengen van heipalen, kelders, leidingen of overige constructies in de grond.

Inwendige belastingen

In de tunnel kunnen aanpassingen worden gedaan waardoor de krachten op de tunnel veranderen. Op dit moment wordt uitgegaan van een bepaald soort trein welke in de tunnel gaat rijden en bepaalde voorzieningen, zoals de bovenbouw welke wordt aangebracht zodat de trein kan gaan rijden. Dit kan in de komende 100 jaar veranderen. Indien zwaardere of lichtere treinen worden toegepast, verandert de belasting in de tunnel. Door meer of juist minder voorzieningen verandert de belasting.

Verandering van eisen

Door verscherping van de veiligheidseisen is het mogelijk, dat de tunnel onbruikbaar wordt omdat de nodige voorzieningen niet kunnen worden aangebracht in de tunnel.

Verandering van treinen, innovatie

In 100 jaar zal de techniek enorm veranderen. Op dit moment is al sprake van een magneettrein, die veel harder kan rijden dan 300 km/uur. De tunnel onder het Groene Hart is gedimensioneerd op een trein met een snelheid van 300 km/uur. Het is mogelijk, dat de tunnel niet meer voldoet indien treinen met een grotere snelheid worden toegepast.

Vrachttreinen

In dit rapport wordt er van uitgegaan, dat alleen passagierstreinen door de tunnel onder het Groene Hart zullen gaan rijden. Er is een kans dat toch vrachttreinen door de tunnel zullen gaan rijden of treinen met vervoer van auto's en vrachtwagens.

In vrachttreinen is, afhankelijk van de vracht, de kans op brand groter. Maar zoals te zien was bij de kanaaltunnel is het van belang dat de wagons gesloten zijn zodat de brand, indien deze ontstaat geïsoleerd blijft in de wagon. Door een branddetectiesysteem en een sprinklerinstallatie zal de brand vroegtijdig geblust kunnen worden.

Het voordeel van vrachttreinen en transporttreinen is weer, dat er weinig mensen in de trein zitten waardoor de vluchtijd van de passagiers wordt verkleind.

Verder geldt voor brand, ontsporing en botsing hetzelfde als voor passagierstreinen.

Calamiteit in de tunnel

Schade aan de tunnel of bezwijken van de tunnel kan optreden indien in de tunnel een aanrijding, botsing of ontsporing van een trein plaatsvindt.

Bij brand in de tunnel is het mogelijk dat deze niet tijdig wordt geblust, waardoor schade ontstaat aan de tunnelwand of de tunnel zelfs kan bezwijken.

In figuur 4.1 is de wand van de kanaaltunnel te zien na de brand. Duidelijk te zien in deze foto is dat de randen van de segmenten in tact zijn en dat in het midden van de segmenten beton is afgespat waardoor de wapening zichtbaar is.



Figuur 4.1 Wand kanaaltunnel na brand

Overzicht risico's

Typering risico	Risico	Oorzaak	Gevolg	Maatregel
Duurzaamheid	Lekkage, bezwijken tunnel	Fouten in ontwerp, uitvoering	Schade, financieel	Regelmatig inspectie en onderhoud
Uitwendige belasting	Vervorming tunnel, lekkage, bezwijken tunnel	Bouwwerkzaamheden in invloedssfeer tunnel, bemaling	Schade, financieel	Additionele bebouwing buiten invloedssfeer tunnel aanbrengen
Inwendige belasting	Vervormingen, lekkage, bezwijken	Verandering van bovenbouw of trein	Schade, financieel	In onderbouw ruimte aanbrengen waarin gewicht in tunnel kan worden gevarieerd
Verandering eisen	Tunnel voldoet niet meer aan eisen	Besluiten overheid	Tunnel onbruikbaar	Tunnelindeling aanpassen, variabel aanbrengen
Verandering treinen	Tunnel voldoet niet meer	Innovatie, techniek	Tunnel onbruikbaar	Treinen niet harder dan 300 km/uur in tunnel laten rijden
Falen door calamiteit	Schade, lekkage, bezwijken tunnel	Brand, botsing, aanrijding, ontsporing	Schade, Tunnel tijdelijk buiten gebruik	Voorzorgsmaatregelen

4.3 Vergelijking

Bovenstaande risico's gelden zowel voor het referentie ontwerp als voor een dubbelsporige tunnel.

De risico's falen door duurzaamheid, verandering inwendige belasting en verandering uitwendige belasting zijn voor beide alternatieven gelijk.

De risico's "verandering van eisen" en "verandering van treinen" zullen voor beide alternatieven gelijk zijn alleen zijn de gevolgen voor een dubbelsporige boortunnel kleiner.

Indien in de toekomst wenselijk is om snellere treinen toe te passen, waardoor de 'vrije ruimte' in de tunnel te klein is geworden, is het mogelijk de dubbelsporige boortunnel anders in te richten, bijvoorbeeld terug te brengen naar één spoor waardoor sneller treinverkeer mogelijk wordt. Dit is echter wel een zeer ingrijpende maatregel echter het alternatief is dat de tunnel niet meer gebruikt kan worden. ('Vrije ruimte' is de ruimte in de tunnel benodigd om de drukgolven, welke gegenereerd worden door een trein in de tunnel te verkleinen, zodat de passagiers geen hinder van de druk ondervinden op de trommelvliezen)

Het risico falen door een calamiteit is ook gelijk voor beide alternatieven, de gevolgen zijn wel verschillend. Het gevolg zal voor een dubbelsporige boortunnel groter zijn omdat hier sprake is van één buis, waardoor het mogelijk is dat de gehele tunnel in geval van een calamiteit buiten gebruik gesteld wordt, terwijl bij het referentie ontwerp sprake is van twee buizen, waardoor het treinverkeer in de onaangetaste buis doorgang kan vinden.

4.4 Veiligheid

Bij het vergelijken van het referentie ontwerp met een dubbelsporige tunnel rijzen direct vragen met betrekking tot de veiligheid. Doordat in een tunnel treinen elkaar passeren dient extra aandacht aan de veiligheid te worden besteed. Hierbij wordt direct gedacht aan de brand in de kanaaltunnel. Tevens roept veiligheid in een tunnel associaties op met de branden in de Mont-Blanc tunnel en de Tauerntunnel. Zie ook bijlage E.

Volgens het NRC heeft een veilige tunnel gescheiden buizen voor de twee verkeersstromen. Dit betrof een tunnel voor autoverkeer, maar bij treinverkeer geldt in principe hetzelfde. [38].

Hieronder wordt bekeken welke gebeurtenissen zich kunnen voordoen in een tunnel voor treinverkeer. In de volgende hoofdstukken worden deze gebeurtenissen afzonderlijk behandeld.

Mogelijke gebeurtenissen in een tunnel[13,14,15,16]:

- Brand
- Botsing
- Ontsporing
- Ongevallen tijdens werkzaamheden aan de infrastructuur
- Aanrijding
- Elektrocutie
- Combinatie van gebeurtenissen

Deze gebeurtenissen worden in de volgende vier hoofdstukken uitgebreid beschreven.

5 Hoofdgebeurtenis brand

5.1 Inleiding

In de periode van 1981 tot 1995 zijn 30 treinbranden ontstaan in reizigerstreinen [24] in Nederland. Van deze 30 branden vonden er 4 plaats buiten exploitatie van de trein. Van de overige 26 branden waren er 10 gestart in de reizigersruimte en 16 branden waren gestart in een technische ruimte.

Van de 10 branden, die ontstaan zijn in de reizigersruimte, was 9 keer de oorzaak brandstichting en 1 keer was de oorzaak techniek. Van de 16 branden, die zijn ontstaan in de technische ruimte, was de oorzaak 9 keer brandstichting, 1 keer techniek en 6 keer was de oorzaak onbekend.

Bij deze 30 branden zijn geen slachtoffers gevallen, slechts twee passagiers kregen bij twee verschillende branden last van ademhalingsproblemen [23].

De treinkilometer prestatie was in deze periode 113 miljoen trein kilometers per jaar. Hierdoor was de brandfrequentie per kilometer $1,5 \cdot 10^{-8}$. Dit komt neer op 1,7 branden per jaar.

Uit deze gegevens kan de brandfrequentie per kilometer voor de tunnel onder het Groene Hart bepaald worden.

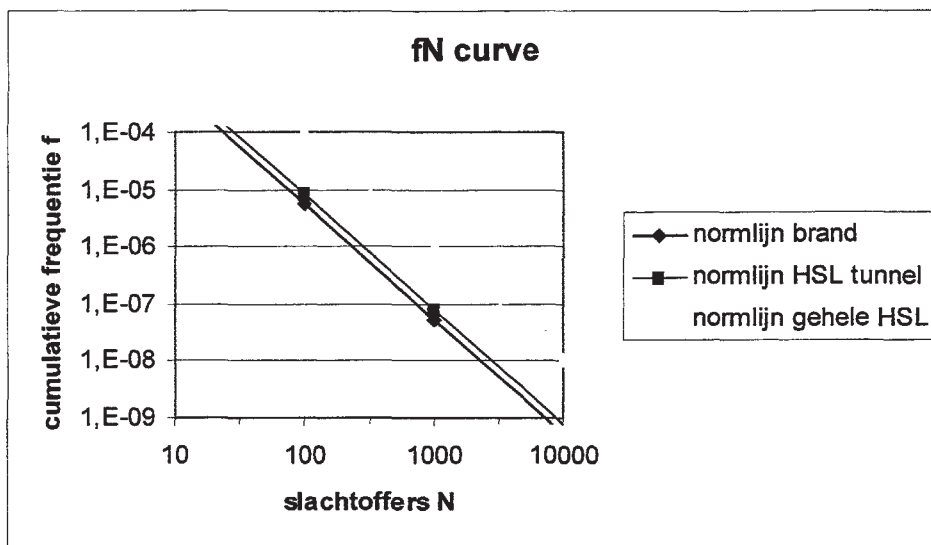
De treinintensiteit voor de HSL tunnel bedraagt $4 \cdot 10^4$ treinen per jaar. Op grond van de praktijkervaring zou dit voor de HSL tunnel onder het Groene Hart betekenen dat er 0,0042 branden per jaar plaatsvinden. De brandfrequentie per kilometer wordt hierbij $6 \cdot 10^{-4}$.

Deze waarde van 0,0042 branden per jaar in de HSL tunnel is gerelateerd aan de cijfers zoals gevonden bij reguliere treinen. Deze vergelijking is niet geheel juist. Doordat voor de hogesnelheidstrein een apart kaartje gekocht dient te worden, welke duurder is dan voor een reguliere trein, wordt een andere doelgroep reizigers aangetrokken, die een duurder kaartje kunnen betalen. Hierbij wordt er van uitgegaan dat passagiers die brand stichten een duurder kaartje niet willen of kunnen betalen. Om hier een beeld van te krijgen zou onderzoek gedaan moeten worden naar de personen die brand stichten in een trein.

(Eventueel kan een relatie gezocht worden, indien deze aanwezig is, naar de relatie tussen brandstichting en tijdstip. Bijvoorbeeld is er meer kans in nachttreinen of is er meer kans na bijvoorbeeld een wedstrijd of concert)

Bovendien zal meer controle uitgeoefend worden op de personen die een kaartje kopen voor de HST (Hoge Snelheids Trein), door extra toezicht op de perrons en extra toezicht in de trein zelf. Hierdoor zou brand door brandstichting kunnen verminderen. Uit bovenstaande gegevens blijkt dat 70 % van de branden in de trein ontstaan door brandstichting. Indien dit gehalveerd kan worden, kan de brandfrequentie teruggebracht worden tot 0,00147 branden per jaar.

Voor de gehele HSL lijn is er een normlijn aangegeven voor het groepsrisico, deze is gedefinieerd als f-N curve: $f = 1/N^2$. Hierin is N het aantal slachtoffers en f de frequentie. Voor de HSL tunnel onder het "Groene Hart" is de normlijn voor 8 km $0,08/N^2$. Voor het maatschappelijk risico wordt 2/3 van deze norm toegewezen aan het brandscenario. Dat houdt in dat de normlijn voor brand in de HSL tunnel wordt gesteld op $0,053/N^2$.



Figuur 5.1 Normlijn voor de gehele HSL, HSL boortunnel en voor brand in de boortunnel

Van de normlijn voor de HSL tunnel wordt 2/3 van de normlijn toegeschreven aan brand. Dat betekent, dat van de mogelijke gebeurtenissen in de trein, brand de belangrijkste is en de meeste kans heeft van optreden. Aan de hoofdgebeurtenis brand zal meer aandacht worden besteed dan aan de andere hoofdgebeurtenissen.

5.2 Ontstaan van brand

Brand kan ontstaan op verschillende plaatsen. Brand kan ontstaan in de tunnel zonder dat er een trein aanwezig is. Dit is mogelijk doordat brand ontstaat ten gevolge van onderhoudswerkzaamheden. Een andere mogelijkheid is dat brand ontstaat door zwerfvuil in de tunnel of door het technisch falen van de installatie in de tunnel.

Brand in de trein kan ontstaan in het passagiersgedeelte, het wordt dan gezien door treinpersoneel of passagiers, waarbij de kans groot is dat de brand vroegtijdig wordt gedetecteerd en geblust kan worden. Brand in de trein kan ook ontstaan in de technische ruimte. Hier is geen detectie dus de brand wordt pas ontdekt door treinpersoneel of reizigers indien de brand de paden of het passagiersgedeelte heeft bereikt. Door brandmelders kan de brand wel gedetecteerd worden. Een andere mogelijkheid is de signalering van een foutmelding in de technische ruimte. Indien de brand in een technische ruimte ontdekt wordt, is de kans groter dat deze al dusdanig is uitgegroeid dat de brand niet meer met een handblusser te blussen is. Door toepassing van een sprinkler installatie zal de brand in de trein vroegtijdig worden gedoofd. Brand welke ontstaat in de bagageruimte of vrachtruimte is voor de HSL niet van toepassing. Er wordt vanuit gegaan dat de tunnel alleen bestemd is voor hoge snelheidstreinen en deze treinen zijn niet uitgerust met een bagageruimte.

Brand in de tunnel kan ook ontstaan door brand aan de trein. Deze brand wordt pas ontdekt op het moment dat de brand is uitgebreid tot het interieur. Automatische detectie in de tunnel vindt pas plaats op het moment dat de brand uitgebreid is tot de zijkanten of na treinstilstand. De brand is dan al in een vergevorderd stadium en zal niet geblust kunnen worden door middel van een handblusmiddel.

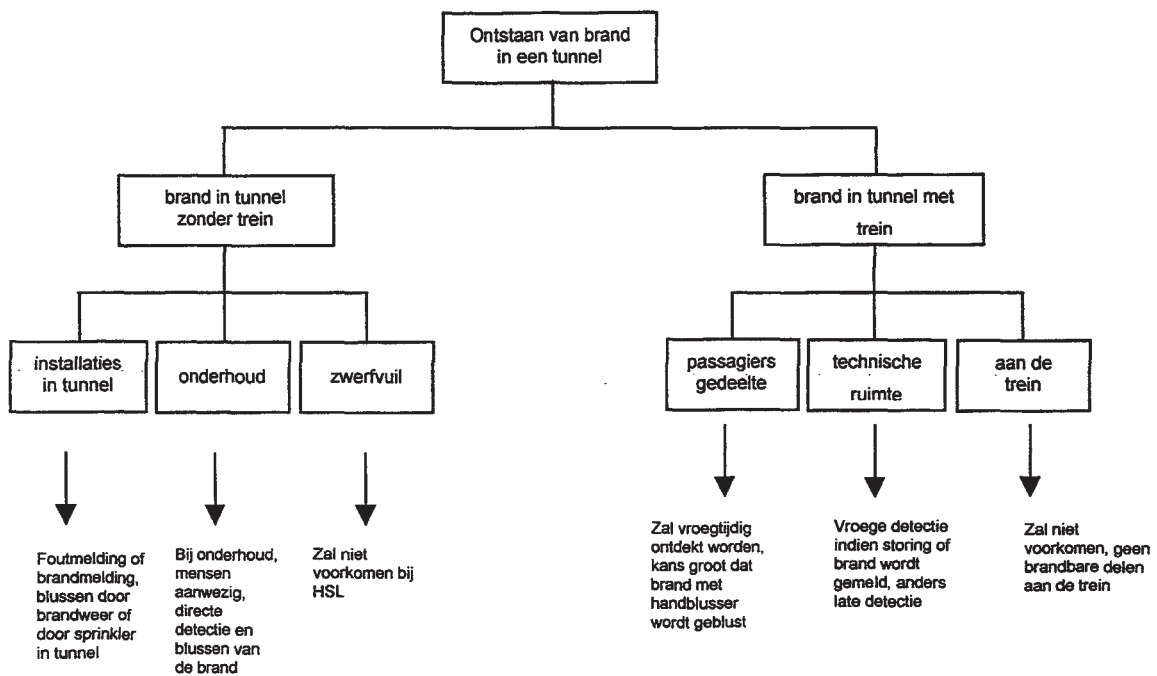
Indien de brand niet met de hand geblust kan worden, dient de trein te stoppen voor of na de tunnel, maar nooit in de tunnel. Indien de trein toch stopt in de tunnel is er sprake van een ongecontroleerde stop.

De kans dat een brandende trein stopt in de tunnel is zeer klein. Zoals hierboven beschreven vonden 20 branden plaats in 15 jaar waarbij geen slachtoffers vielen, doordat de passagiers de brandende coupé verlieten en in de omringende coupés gingen zitten. Door de deuren in de trein wordt de brand op één plaats gehouden. Hierdoor kon de machinist tijdig stoppen op een voor de passagiers gunstige plek, meestal het eerst volgende perron. Vanuit deze ervaring is de kans zeer gering dat een brandende trein zal stoppen in de tunnel.

Toch is het mogelijk dat een ongecontroleerde stop plaatsvindt in de tunnel door[17]:

- Technisch falen door brand
- Storingen in het energienetwerk
- Foutieve informatie
- Verkeerde berekening van de remweg
- Gebruik van de noodrem, waarbij tevens de noodremoverbrugging niet aanwezig is, niet ingeschakeld is of faalt.

De kans op de laatste twee oorzaken, welke te maken hebben met de remweg kunnen verkleind worden door extra maatregelen toe te passen. Door goede instructies voor het treinpersoneel en een automatische remwegbepaling wordt deze mogelijkheid verkleind. Door een goede remwegoverbrugging kan voorkomen worden dat de trein stil komt te staan in de tunnel.



Figuur 5.2 Schematisatie ontstaan van brand

5.3 Brandvermogen

De hogesnelheidstrein, HST bestaat voor 8% uit het brandbare materiaal polyvinylchloride (PVC), een harde kunststof en voor 16% uit polyurethaan (PU) [22]. De HST wordt uitgevoerd met brandarme materialen waardoor de brand niet verder kan groeien dan tot 20 MW. Een brand van 40 MW komt alleen voor wanneer de trein is uitgerust met een aluminium dak en wanneer de gehele coupé in brand staat. De hoge snelheidstrein wordt niet uitgevoerd met een aluminium dak.

Indien de brand ontstaat onder de trein of in de electriciteitskasten [16] zal de brand de eerste 10 minuten een vermogen hebben van 0,1 MW. Na 10 minuten heeft de brand een vermogen van 5 MW en breekt door in passagiersgedeelten waarna de trein tot stilstand komt. Na 20 minuten ontstaat een 20 MW brand.

Indien de brand in het passagiersgedeelte ontstaat zal de brand de eerste 10 minuten een vermogen hebben van 0,1 MW. Na 10 minuten zal de brand een vermogen van 5MW genereren en na 15 minuten is de brand uitgegroeid tot een brand met een vermogen van 20 MW.

Het probleem is dat op het moment dat de brand wordt gedetecteerd onbekend is hoe lang deze al brandt. Indien de brand in het passagiersgedeelte ontstaat is de kans groot dat deze vroegtijdig wordt ontdekt.

Voor de verblijfstijd in de tunnel zijn drie effecten van belang:

- Warmte ontwikkeling
- Rookontwikkeling
- Ontwikkeling van toxische stoffen

5.4 Warmte ontwikkeling

Warmte ontwikkeling [22] voor een grote brand 20 MW tot 40 MW:

Hoogte in de tunnel	Temperatuur als functie van de afstand vanaf de brand						Temp in test rijtuig	
	Afstand	-45	-30	-10	+10	30	45	Voor
Top	190	250	605	620	350	250	180	105
4	120	120	550	600	290	220		
3	40	40	280	720	150	140	100	20
2	30	30	180	720	80	70		
1	20	30	120	690	60	60	40	10

Tabel 5.1 Warmte ontwikkeling t.o.v afstand van de brand bij een 20 en 40 MW brand

In de tabel is de initiële luchttemperatuur 5°C en de lichtsnelheid is 0,5 - 1,0 m/s.

Bij bepaling van de vrijgekomen warmte van de onderzochte brand bleek, dat kort verblijf nabij de brand niet mogelijk is zonder beschermende kleding.

De rooklaag, die bij de brand ontstaat, zal ook warmtestraling afgeven.

Indien de ventilatie in de tunnel faalt, is er op een afstand van 140 meter van de brand met een intentie van 20 MW geen gevaar meer voor warmtestraling.

De luchttemperatuur [25] waaraan passagiers gedurende korte tijd kunnen worden blootgesteld, is maximaal 60°C.

Door ventilatie in de rijrichting van de trein is de temperatuur in de tunnel veel lager, zodat er minder kans is op letaal letsel. [26].

Conclusie

De waarden in bovenstaand schema hebben betrekking op een brand van 20 tot 40 MW. Een brand van 40 MW zal niet voorkomen in de tunnel en een brand van 20 MW zal pas ontstaan na 15 tot 20 minuten. De passagiers zullen in deze 15 tot 20 minuten meer dan 30 meter verwijderd moeten zijn van de brand om letsel te voorkomen. In het geval van brand zullen passagiers, die zich in de brandende coupé bevinden, zich verplaatsen naar een aangelegen coupé, waardoor de passagiers zeker na 15 tot 20 minuten voldoende ver van de brand verwijderd zullen zijn. Hierdoor zal letaal letsel door warmte ontwikkeling niet optreden.

5.5 Rookontwikkeling

De rookontwikkeling is afhankelijk van de omvang van de brand. In onderstaand schema wordt de rookontwikkeling aangegeven [22]:

Omvang brand	Vermogen (MW)	Brandsnelheid (kg/s)	Emissie (g/s)			
			rook	CO	NO _x	HCl
Beginnende brand	0,5	0,016	1,6	1,2	0,3	0,7
Kleine brand	5	0,156	16	12	3,1	7,3
Zeer grote brand	20	0,625	63	50	13	29
Zeer grote brand	40	1,25	63	50	13	29

Tabel 5.2 Rookontwikkeling en emissie van toxische stoffen bij brand

Door de rookontwikkeling wordt het zicht ernstig verminderd. Het vluchtproces zal naar mate het vluchten langer duurt steeds moeizamer verlopen, omdat de passagiers steeds minder kunnen zien. Door lichtbalken aan te brengen en noodverlichting, die aangeeft in welke richting een dwarsverbinding zich bevindt of de dwarsverbinding zelf duidelijk met licht aan te geven, kan het effect van de rook zo veel mogelijk worden geminimaliseerd.

Indien langsventilatie in rijrichting van de trein wordt toegepast [26], wordt de concentratie rook dusdanig verdund, dat er geen letaal letsel optreedt en er voldoende zicht is voor de passagiers om te vluchten. Door overdruk toe te passen in de tweede buis, vluchtgang of het tweede spoor komt er bij het openen van de vluchtdeur een verse bel lucht naar binnen, waardoor de passagiers kunnen zien waar de vluchtdeur zich bevindt.

Bij een 20 MW brand waarbij de ventilatie faalt of ontbreekt, is het zicht de eerste 6 tot 8 minuten meer dan 2,5 meter [15]. Na 20 minuten zal de rook zich verspreiden over 2 tot 3 km waardoor het zicht zo is afgenomen dat vluchten bijna onmogelijk is.

Op een afstand van 20 - 80 meter zijn reflecterende paden [24] nog maar 3,5 tot 5 minuten zichtbaar. De minimale zichtbaarheidsduur direct nabij de brand is 2,5 minuten. In Granada is tijdens brandproeven vastgesteld, dat de zichtlengte 10 minuten na het begin van de brand kleiner was dan 10 meter.

De zichtbaarheid is na 10 minuten minder dan 10 meter bij een 20MW brand. Het duurt minimaal 15 minuten voordat een 20 MW brand zal optreden, waardoor de eerste 20 tot 25 minuten van de brand het zicht voldoende zal zijn om de vluchtdeur te kunnen bereiken naar de veilige ruimte.

Conclusie

Indien de ventilatie faalt zal het vluchten door de rook na 20 minuten onmogelijk worden. Bij een werkende ventilatie zal rook geen problemen opleveren.

5.6 Ontwikkeling toxische stoffen

De toxische stoffen die gevormd worden bij een brandende trein zijn voornamelijk CO, koolstofoxide, NO₂, koolstofdioxide en HCl, zoutzuur. In tabel 5.2 is de uitstoot van toxische stoffen te zien bij verschillende mate van brandintensiteit.

Inademen van CO, koolstofoxide remt het zuurstoftransport door het bloed, waarvoor vooral hart en hersenen gevoelig zijn. De drempelwaarde voor letaal letsel als gevolg van inademen van CO is [22] bij blootstelling van 10 minuten 2360mg/m³ en voor blootstelling aan CO van 30 minuten 787 mg/m³.

Aangenomen wordt, dat chloor omgezet wordt in HCl, zoutzuur. HCl is een sterk zuur, dat corrosief werkt op het oppervlakteweefsel. Met name slijmvliezen van ogen en luchtwegen en de huid worden hierdoor aangetast. Indien al het brandbare materiaal uit PVC bestaat, dan ontstaat per kg verbrand product 0,584 kg HCl. Het materiaal dat verbrandt, bevat circa 8% PVC. Dit geeft bij een 20 MW brand met brandsnelheid van 0,625 een HCl productie van ca. 29,3 gram/sec.

Bij blootstelling aan HCl is de drempelwaarde voor letaal letsel [22] na 10 minuten 1170 mg/m³ en na 30 minuten is dat 391 mg/m³.

Stikstofdioxide NO₂ en stikstofmonoxide NO veroorzaken prikkelingsverschijnselen in het overgangsgedebied van luchtwegen naar longen en van het oog-slijmvlies. Bij een brand [22], die uit 16% PU bestaat, wordt per kg verbrand product 0,02 kg NO₂ gevormd,

Dit geeft bij een 20 MW brand met een brandsnelheid van 0,625 kg/sec, een NO₂ productie van ca. 12,5 gram/sec. Bij blootstelling van 10 minuten is de drempelwaarde 168 mg/m³ en voor 30 minuten is dat 125 mg/m³.

Een brand in passagiersruimte of in technische ruimte zal beginnen met een brand met een intensiteit van 0,1 MW en na 10 minuten zal deze brand overgaan in een brand met een intensiteit van 5 MW en na 15 minuten gaat de brand over in een brand met een intensiteit van 20 MW.

Met deze gegevens kan bepaald worden hoe snel passagiers de tunnel met brandende trein dienen te verlaten zonder daarbij blijvend letsel over te houden door intoxicatie. Zie bijlage G.

Bovenstaande gegevens kunnen vertaald worden in de vluchttijd van de passagiers waarbij geen blijvende schade optreedt. Bij NO is dat een vluchttijd van 10 minuten, bij HCl is dat een vluchttijd van 10 minuten en bij CO is dat een vluchttijd van 15 minuten.

Indien bovenstaande waarden aangehouden worden dienen de passagiers zich binnen 10 minuten in een veilige ruimte te bevinden, volgens Molag en Jansen [22] is dat 15 minuten.

Hierbij is geen rekening gehouden met gecombineerde blootstelling aan de verschillende toxische stoffen. Waarschijnlijk zal hierdoor de waarde dichter bij 10 minuten liggen dan bij 15 minuten.

Indien ventilatie wordt toegepast in langsrichting [26] worden de concentraties van de toxische verbrandingsgassen verdund zodat minder kans is op letaal letsel.

Verdunning van de rook met bijbehorende toelaatbare vluchttijden								
Verdunning	geen	10 keer	20 keer	30 keer	40 keer	50 keer	60 keer	70 keer
Vluchttijd in minuten	10	15	15	23	31	38	46	54

Tabel 5.3 Verdunning van de rook met bijbehorende vluchttijden

5.7 Vluchtsnelheid passagiers

De vluchtsnelheid van een individu [27] hangt in grote mate af van zijn of haar fysieke conditie, de vluchtroute, de dichtheid van de menigte en de in de tunnel aanwezige rook. 5% van de bevolking is op een of andere manier lichamelijk gehandicapt. Deze passagiers zullen langzamer vluchten dan andere passagiers. Voor gewonden geldt, dat deze zijn aangewezen op het reddingspersoneel voor de evacuatie.

De vluchttijd van passagiers is uitgerekend door Railed [23], deze berekening is hier overgenomen en uitgebreid voor verschillende afstanden van de vluchtdeuren en verschillende breedtes van de vluchtpaden. De uitgangspunten bij deze berekening zijn, dat een passagier 3 seconden nodig heeft om uit de trein te stappen. De snelheid waarmee passagiers de vluchtdeur door gaan is afhankelijk van de loopsnelheid van de passagiers en het aantal passagiers dat op het vluchtpad staat.

De trein is 400 meter lang, de afstand tussen de voorste treindeur en de achterste treindeur is 350 meter. Er wordt uitgegaan van de meest ongunstige situatie bij het bepalen van de vluchttijd.

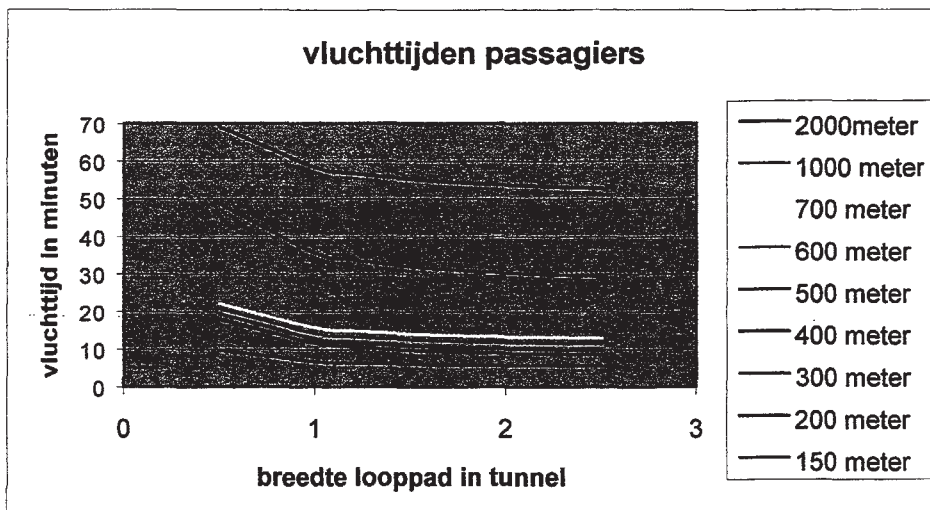
De meest ongunstige situatie ontstaat als de brand aan de kop van de trein plaatsvindt, waarbij een treindeur niet bruikbaar is. De trein stopt in de tunnel met het brandende deel voor een vluchtdeur waardoor een dwarsverbinding niet bruikbaar is. Hierbij is geen rekening gehouden met de invloed van rook, intoxicatie en warmteontwikkeling. Er is tevens aangenomen dat een trein 14 deuren heeft en dat er 770 passagiers in de trein zitten. Er is ook geen rekening gehouden met minder valide passagiers in de trein.

De berekende vluchttijden zijn zeer globaal en waarschijnlijk te optimistisch doordat bovenstaande effecten niet zijn meegenomen. Zie ook bijlage F.

In onderstaand schema staan de vluchttijden van de passagiers in minuten afhankelijk van de breedte van het looppad en de afstand tot de vluchtdeuren.

Breedte looppad \ Afstand Vluchtdeuren/ Dwarsverbindingen	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,5
50	4.24	4.24	4.26	4.28	4.31	4.59
100	4.14	4.16	4.20	4.27	4.37	5.42
150	5.63	5.72	5.91	6.25	6.64	9.63
200	5.63	5.72	5.91	6.25	6.64	9.63
300	8.87	9.13	9.68	10.60	11.62	17.83
400	8.87	9.13	9.68	10.60	11.62	17.83
500	10.11	10.35	10.88	11.75	12.70	19.33
600	11.59	11.84	12.35	13.18	14.09	20.65
700	13.36	13.60	14.10	14.91	15.79	22.15
1000	35.48	33.62	31.85	30.72	30.17	29.20
2000	68.79	58.22	56.61	55.05	54.02	53.52

Tabel 5.4 Vluchttijden passagiers in minuten bij verschillende breedtes van het looppad en afstand tot de vluchtdeuren



Figuur 5.3 Vluchttijden passagiers in minuten bij verschillende breedtes van de vluchtpaden en afstand tot de vluchtdeur.

Uit de figuur blijkt dat een looppad breder dan 1,2 meter niet leidt tot veel kleinere vluchttijden, vooral niet bij een kleinere afstand van de vluchtdeuren.

Indien de vluchttijd op 15 minuten wordt gesteld in verband met intoxicatie door HCl gassen, zal bij een vluchtpad van 1,2 meter een vluchtdeur om de 700 meter voldoende zijn. Indien de grens van 10 minuten wordt aangehouden zullen de vluchtdeuren over een afstand van minder dan 300 meter worden aangebracht.

Conclusie

De vluchttijden, zoals hierboven bepaald, houden geen rekening met een panieksituatie, gehandicapten of gewonden. Dit zijn vertragende factoren op het vluchtproces. Aan de andere kant wordt bij het berekenen van de vluchttijden uitgegaan van de meest ongunstige situatie waardoor de vluchttijden weer te ongunstig worden voorgesteld. Hierdoor zullen de vluchttijden, zoals deze in werkelijkheid voorkomen, ongeveer overeenkomen.

De verblijfstijd in de tunnel zonder dat blijvend letsel optreedt is afhankelijk van de warmte ontwikkeling, rookontwikkeling en van de hoeveelheid toxische stoffen in de lucht.

Uit bovenstaande vluchttijden blijkt dat letsel door warmte ontwikkeling niet zal optreden, doordat de passagiers zich tijdig op voldoende afstand van de brand zullen bevinden.

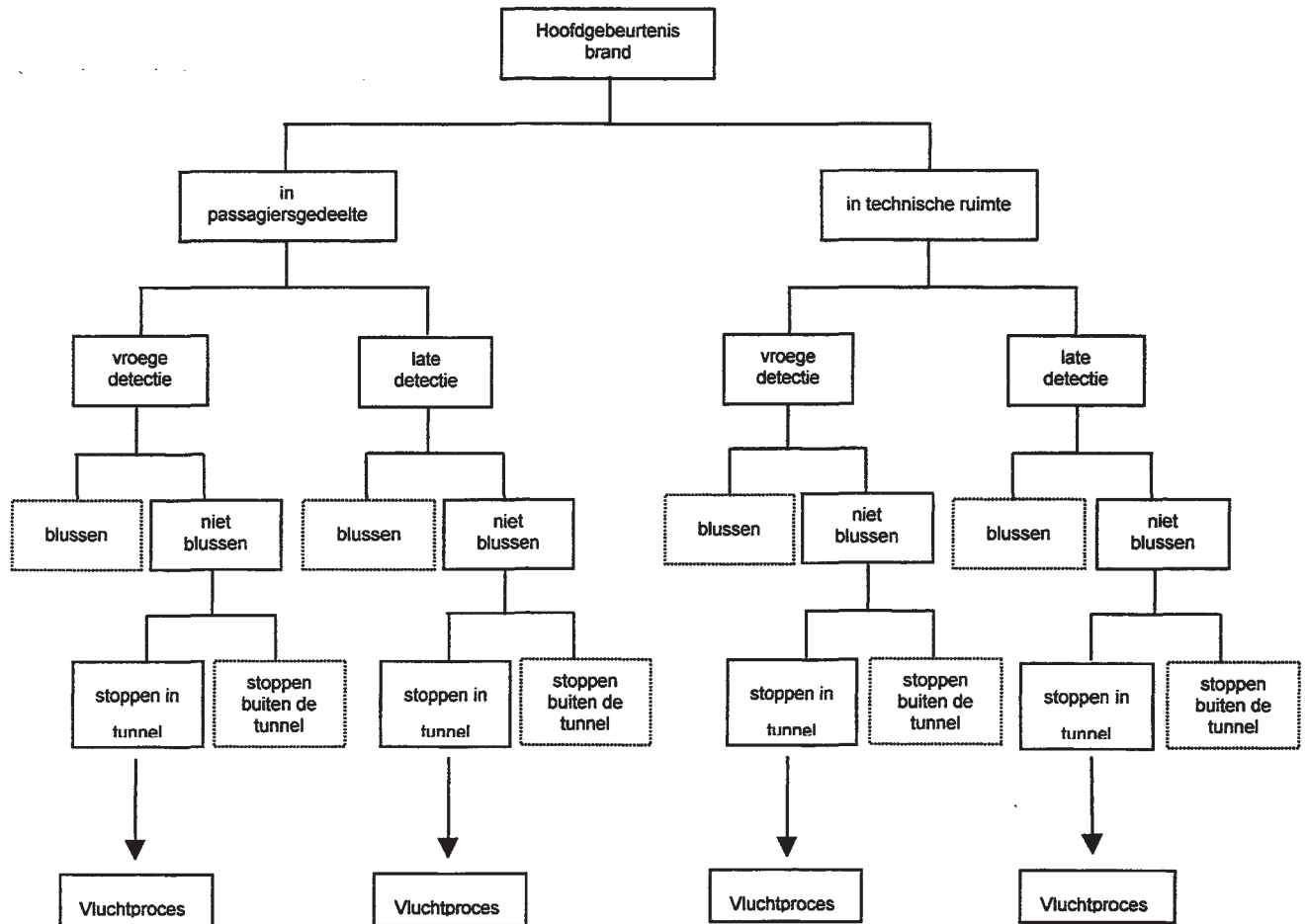
Door rookontwikkeling wordt met name het zicht belemmerd. Dit zicht zal de eerste 20 minuten van de brand geen probleem vormen. Indien langsventilatie wordt toegepast zal langere tijd het zicht goed blijven.

Door toxische stoffen die vrij komen bij een brand, ook al bij een kleine brand van 0,1 MW, kunnen al na 10 minuten problemen ontstaan met de ademhaling met name door de vorming van zoutzuur.

Indien langsventilatie wordt toegepast zullen de toxische stoffen verdund worden waardoor de tijdsduur toeneemt. De toelaatbare vluchttijd is afhankelijk van de mate van verdunning.

5.8 Gebeurtenissen bij brand

De hoofdgebeurtenis is brand, deze vormt een gevaar voor de veiligheid voor personen indien de brand ontstaat in de passagiersruimte of in de technische ruimte. Een stop in de tunnel zal alleen dan plaatsvinden indien een brand optreedt en deze niet geblust kan worden, waarna vervolgens de trein zal stoppen in de tunnel.



Figuur 5.4 Gebeurtenissenboom bij brand

5.9 Vluchtproces bij brand

Vluchtproces passagiers

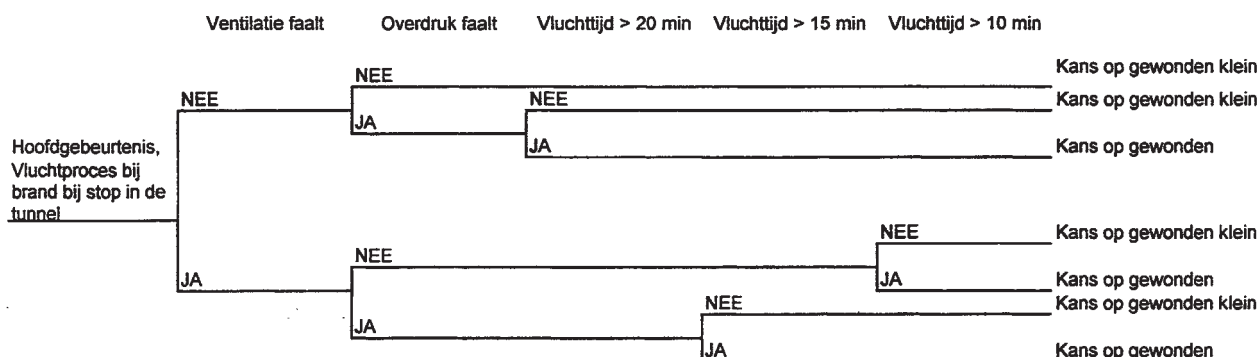
In het geval van een ongecontroleerde stop is het mogelijk, dat de treindeuren niet direct geopend kunnen worden. Dit is mogelijk door een technische storing, bijvoorbeeld als de brand in de technische ruimte het automatische mechanisme van de treindeuren heeft aangetast. De treindeuren kunnen dan handmatig worden geopend of er kan een raam ingeslagen worden, waardoor de passagiers kunnen vluchten. Dit zal voor alle alternatieven gelijkwaardig zijn.

De passagiers zullen naar de dichtst bijzijnde vluchtdeur lopen. Door ventilatie in rijrichting van de trein wordt de rook één kant op geblazen in de tunnel. Passagiers, die zich in het rookvrije deel bevinden, zullen in de richting lopen van de brand af naar de dichtst bijzijnde vluchtdeur. Het is mogelijk dat een gedeelte van de passagiers zich midden in de rook bevindt. Deze passagiers zullen ook van de brand af lopen, aangezien het onmogelijk is om een brand te passeren, vanwege warmtestraling. Door de brand komen giftige stoffen in de tunnel terecht, waardoor de kans op intoxicatie bestaat. Het aantal slachtoffers is afhankelijk van de vluchttijd van de passagiers, indien de ventilatie faalt is de toelaatbare vluchttijd 10 minuten. De vluchttijden zijn afhankelijk van de afstand tot de vluchtdeuren. De passagiers, die zich in de rook bevinden, zullen moeite hebben met het vinden van de vluchtdeuren. Indien de vluchtdeuren verlicht worden door middel van lichtbalken, zijn de vluchtdeuren makkelijker te vinden. Door overdruk toe te passen in de tweede tunnel zal bij het openen van de vluchtdeur een luchtbel ontstaan, waardoor de rook ter plaatse van de vluchtdeur wegtrekt, zodat de opening zichtbaar wordt voor de vluchtende passagiers.

Falen van de vluchtdeur is mogelijk door een technische storing. Hierbij zullen de passagiers de vluchtdeur handmatig moeten openen of doorlopen naar een volgende vluchtdeur. Dit zal de vluchttijd verlengen.

De tweede buis wordt gezien als veilige ruimte. De passagiers zullen zich echter pas echt veilig voelen, indien zij de tunnel uit zijn. Dat wil zeggen, dat de passagiers tot een vluchtschacht lopen en daar het maaiveld bereiken. De passagiers kunnen zich ook onveilig voelen doordat de vluchtgang klein is. Indien de veilige ruimte klein is kan paniek uitbreken. Ook door de veilige ruimte onder de sporen aan te brengen kan paniek uitbreken, doordat de passagiers de neiging zullen hebben om omhoog te vluchten en niet omlaag in geval van brand. In een gesloten vluchtgang zal eerder kans zijn op paniek dan in een open tweede buis. De mate van paniek is moeilijk te meten maar heeft een groot effect op vertraging in de vluchttijd. Door een paniecreactie van de passagiers is het mogelijk dat passagiers onder de voet worden gelopen.

De passagiers kunnen over het pad langs het spoor in de tweede buis of via een vluchtgang de vluchtschacht bereiken. Hierbij is het mogelijk dat passagiers het spoor moeten oversteken om bij de vluchtschacht te komen. Bij de vluchtschacht kunnen de passagiers door middel van een trap het maaiveld bereiken. Hierbij is het mogelijk, dat er een opstopping ontstaat doordat passagiers door het trappenlopen buiten adem raken en stoppen om op adem te komen. Hoe dieper de schacht hoe groter de kans op opstoppingen. Dit vertraagt het vluchtproces, echter de passagiers bevinden zich niet meer in levensgevaar, waardoor deze vertraging kleine gevolgen zal hebben voor de passagiers.



Figuur 5.5 Gebeurtenissen boom vluchtproces na brand en stop in tunnel

Vertraging in het vluchtproces van de passagiers is na het bereiken van de veilige ruimte afhankelijk van:

- De grootte van de veilige ruimte door de kans op paniek
- Kruisen van het spoor
- Diepte van de vluchtschacht

Brandweer

Indien een trein langzamer rijdt dan een bepaalde aangegeven snelheid gaat automatisch een signaal naar een centraal punt. Daar vandaan worden de overige treinen gewaarschuwd, met name de achterop komende treinen en de treinen die vanaf de andere kant de tunnel naderen. Tevens komt de hulpverlening op gang. Vervolgens komt ook de communicatie op gang met de treinmachinist, om de trein te lokaliseren.

Doordat de overige treinen zijn gewaarschuwd, is er geen trein op het tweede spoor in de tunnel aanwezig op het moment dat de trein stilstaat. De ventilatie wordt aangezet in rijrichting van de trein. Tevens wordt de tweede buis, vluchtgang of dwarsverbinding onder luchtdruk gezet.

Overheidshulpdiensten worden gealarmeerd vanuit een centrale bedieningspost [28]. Melding vanuit de brandmeldcentrale gaat rechtstreeks naar de brandweeralarmcentrale.

Vanuit de procesleiding wordt de tunnel buiten dienst gesteld. De spanning wordt op afstand uitgeschakeld en de bovenleiding wordt geaard. De brandweer zal ook altijd lokaal de aarding van de bovenleiding zeker stellen. De locatie van de trein volgt uit informatie van de procesleiding.

De brandweer wordt, zoals weergegeven in figuur 5.6, ingezet bij een andere vluchtschacht dan de vluchtschacht waar de passagiers gebruik van maken. In de vluchtschacht zal de brandweer gebruik maken van een service lift, terwijl de passagiers de trap zullen nemen. Hierdoor is het ook niet mogelijk dat de brandweer de passagiers tegenkomt in de vluchtschacht.

De brandweer kan ook aan weerszijde van de locatie van de trein worden ingezet. Op deze manier kan de brandweer aan twee zijden met de oriëntatie beginnen. Hierdoor worden twee vluchtschachten in gebruik genomen.

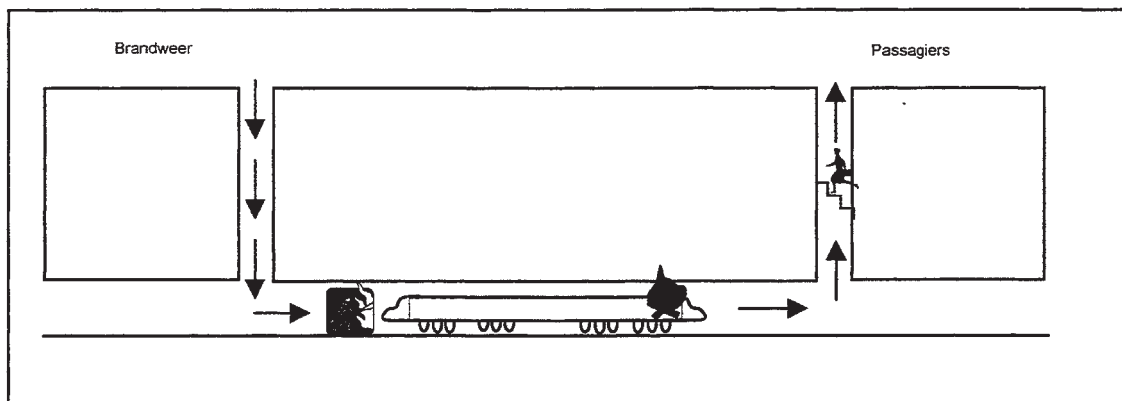
De brandweer komt de passagiers in principe niet tegen. Het vluchten van de passagiers verloopt sneller dan de hulpverlening. Na 20 minuten is de brandweer ter plekke en dan zijn de passagiers al uit het brandende deel van de tunnel. Indien het vluchten van passagiers traag op gang komt, is het mogelijk dat de brandweer de passagiers tegen komt. De brandweer zal hinder ondervinden van de passagiers als deze elkaar in de tunnel tegenkomen. In geval van gewonden is het mogelijk, dat de brandweer gewonden tegen komt en deze eerst evacueert. De brandweer draagt de gewonden over aan de hulpverleners zoals ambulance personeel en eerste hulp.

Het naar binnen rijden van een voertuig of trein in de tunnel is onacceptabel, omdat passagiers over het spoor en de looppaden langs het spoor kunnen vluchten.

Voordat de brandweer het brandende tunneldeel betreedt, is het mogelijk, dat de brandweer het spoor moet oversteken, dat kan een vertraging opleveren. De brandweer maakt gebruik van perslucht bij het blussen van de brand in de tunnel. Indien een veilige ruimte aanwezig is in de tunnel, zoals de tweede buis, vluchtgangen of vluchtpaden, hoeft de brandweer pas gebruik te maken van de perslucht, zodra de brandweer het brandende tunneldeel heeft bereikt. Hierdoor kan de maximale tijd geblust worden, anders zal de perslucht reeds gebruikt worden bij het benaderen van de trein. In het gedeelte waar de brandende trein zich bevindt, kan de brandweer 20 minuten te werk gaan bij luchtflessen gevuld met 200 bar lucht en luchtflessen gevuld met 40 minuten bij 300 bar lucht. Indien de brandweer zwaar werk verricht, worden deze tijden gehalveerd [29].

Vertraging in het blussen van de brand door de brandweer kan ontstaan door:

- Kruisen van de sporen
- Tegenkomen van passagiers / slachtoffers
- Onder perslucht de brandende trein bereiken
- Diepte van de vluchtschacht



Figuur 5.6 Schema, vluchtende passagiers en brandweer komen elkaar in principe niet tegen

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening, zoals EHBO en verpleging, maakt ook gebruik van de lift om de tunnel te betreden. Zij kan in de veilige ruimte passagiers en slachtoffers opvangen. Eerste hulp kan verleend worden in het veilige gedeelte op het tweede spoor. De hulpverlening komt niet in het gedeelte waar de trein brandt.

Deze veilige ruimte dient voldoende groot te zijn om eerste hulp te verlenen en passagiers te vervoeren per brancard.

Indien er nog passagiers aanwezig zijn bij de brandende trein, zal de brandweer deze passagiers evacueren en naar het veilige gedeelte brengen, waar ze verder verzorgd kunnen worden door de hulpverlening. De slachtoffers en gewonden kunnen door middel van de brandlift naar het maaiveld gebracht worden.

Bij de opvang van gewonden worden de meest acute gevallen direct in de tunnel geholpen en zo snel mogelijk naar het maaiveld gebracht. Het is noodzaak, dat de gewonden zo snel mogelijk de tunnel verlaten, ook de veilige ruimte omdat er gevaar bestaat voor onderkoeling door de ventilatie die aanstaat. Tevens is de tunnel vuil, waardoor gewonden niet in de tunnel kunnen verblijven.

De gewonden kunnen door middel van de brandliften naar het maaiveld vervoerd worden. Hierbij gaat het om zeer ernstige gewonden, die niet meer in staat zijn zelfstandig naar boven te lopen met de trap.

Vertraging van de hulpverlening is voornamelijk afhankelijk van het aanwezig zijn van een grote veilige ruimte waar eerste hulp geboden kan worden.

5.10 Conclusie brand

De kans op brand in de tunnel is een kans van eens in de 200 jaar. Vervolgens is er een uitermate kleine kans dat deze ene brand laat gedetecteerd wordt, doordat in de tunnel alleen passagiers aanwezig zijn en geen laadruim. Een brand, die spontaan optreedt in het passagiersgedeelte, terwijl niemand aanwezig is om alarm te slaan of dat de brand in de technische ruimte ontstaat en hierbij faalt het brandalarm en storingsalarm en niemand merkt of ruikt de brand waardoor de brand kan uitgroeien tot een onblusbare brand is bijna onmogelijk. Indien toch brand ontstaat in de hogesnelheidstrein, zal de trein precies in de tunnel moeten stoppen om een gevaar op te leveren voor de veiligheid in de boortunnel onder het groene Hart.

Van 26 branden die in treinen zijn ontstaan in 15 jaar, was er niet één die ongecontroleerd was.

De brand in de kanaaltunnel is ontstaan in een vrachtwagen in een open treindeel, waardoor de brand makkelijk kon overspringen van het ene naar het andere deel van de trein.

De branden, welke onlangs hebben plaatsgevonden in de Mont-Blanc tunnel en de Tauertunnel betroffen beide tunnels voor motorvoertuigen. Beide branden zijn ontstaan in een vrachtwagen. Hierdoor zijn deze tunnels niet vergelijkbaar met de HSL, waar alleen passagierstreinen doorheen zullen rijden en geen voertuigen. Ook worden op de trein geen voertuigen vervoert.

Indien brand toch voorkomt, is een tunnelontwerp met een veilige ruimte een veiliger alternatief dan een tunnel zonder veilige ruimte.

Hierbij is de vluchttijd maatgevend, de tijd die benodigd is voor de passagiers om de veilige ruimte te bereiken. Hierbij is intoxicatie het belangrijkste gevaar.

Dit kan ondervangen worden door in de trein, net zoals in het vliegtuig het geval is, flesjes zuurstof aan te brengen waarin voldoende zuurstof zit om de tunnel te verlaten. Het is niet de bedoeling dat hiermee bluswerkzaamheden worden uitgevoerd, maar er is genoeg zuurstof aanwezig om de tunnel lopend te verlaten. Deze flesjes werken alleen indien hetzelfde principe wordt toegepast als in een vliegtuig. In geval van een calamiteit zullen de flesjes automatisch naar beneden komen in de trein en zal een instructie volgen.

Voor het vergelijken van de verschillende alternatieven is van belang bij het vluchtproces van de passagiers :

- De vluchttijd
- De kans op paniek
- Het oversteken van het spoor om de vluchtschacht te bereiken
- Diepte van de vluchtschacht

Voor de brandweer is van belang:

- Niet tegenkomen van passagiers
- Perslucht nodig om de locatie van de trein te bereiken

Voor de hulpverlening is ruimte in de tunnel om eerste hulp te verlenen van belang.

6 Hoofdgebeurtenis botsing

6.1 Inleiding

Onder een treinbotsing wordt verstaan het met elkaar in aanraking komen van uitsluitend railgebonden voertuigen op de Hogesnelheidslijn Zuid met tenminste schadelijk gevolg. In de periode tussen 1981 en 1990 hebben 74 botsingen met treinen plaatsgevonden, waarbij 9 doden zijn gevallen.

6.2 Ontstaan van en botsing

Een botsing is het in botsing komen van een trein met een andere trein. Hierbij is sprake van een botsing van twee treinen frontaal, een botsing van twee treinen in de flank en een botsing van twee treinen achterop [15].

Bij een frontale botsing wordt onderscheid gemaakt tussen het onbedoeld geleiden van een trein naar het linker spoor en het bewust geleiden van een trein naar het linker spoor. In het laatste geval betreft het bijplaatsen of wegzetten van materieel of op een spoor is sprake van werkzaamheden, versperring of storing. De verkeersleiding geeft bewust opdracht om op het andere spoor te rijden waardoor de linkerbaan gecontroleerd bereden wordt. Door goede controle en toezicht zal in het geval van gecontroleerd berijden van het linker spoor de kans op botsing uitermate klein zijn.

Bij het onbewust berijden van het linkerspoor ontstaat een botsing, meestal door het verkeerd staan van een wissel. In de tunnel worden geen wissels aangebracht maar een trein kan op het verkeerde spoor belanden door een wissel welke is aangebracht vóór de tunnel.

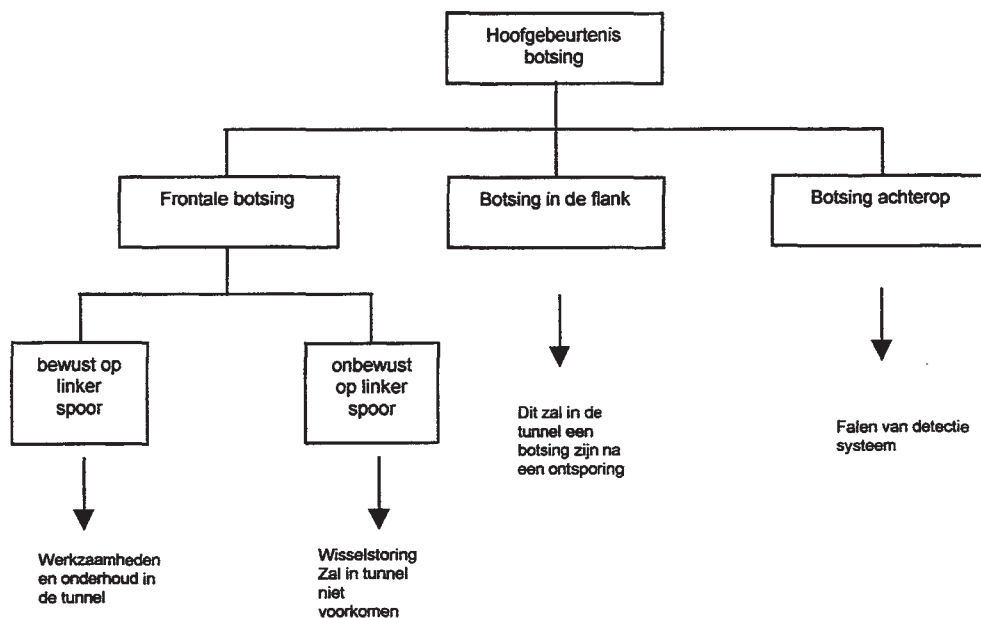
Door in het HSL tracé ruim vóór de tunnel een wissel aan te brengen, zal vroegtijdig worden opgemerkt dat de trein zich op het linker spoor bevindt.

Een botsing van twee treinen achterop elkaar kan plaatsvinden indien de eerste trein langzamer rijdt dan de tweede trein. Het detectiesysteem van de trein is uitgevallen waardoor de tweede trein de eerste trein niet detecteert.

De oorzaak van botsingen kunnen zijn het niet waarnemen van een sein, niet overzien van de rijweg, te laat remmen, onjuiste rembaanvoorziening, verkeerd begrepen informatie, te hoge snelheid, veiligheidsstoring remmen, gladde sporen of sabotage.

In de tunnel onder het "Groene Hart" zal de kans op botsing kleiner zijn dan in het overige tracé, doordat een botsing met een voertuig of persoon niet zal voorkomen. Er worden geen wissels in de tunnel geplaatst, maar vóór en na de tunnel worden wel wissels aangebracht.

Door het toepassen van een beveiligingssysteem kan de kans op botsingen afnemen. Door remcurve, bewaking en bewaking van de maximale snelheid worden ook het aantal botsingen beperkt.



Figuur 6.1 Hoofdgebeurtenis botsing

6.3 Systembeschrijving botsing

Bij een botsing waarbij geen gewonden zijn gevallen, zullen de passagiers worden geëvacueerd. Door een tweede trein in te zetten op hetzelfde spoor of op het tweede spoor kunnen de passagiers overstappen en naar het dichtst bijzijnde station gebracht worden.

Hierbij gaat het wel om een evacuatie. De passagiers worden begeleid bij deze overstap, anders dan bij het scenario brand.

Indien een botsing heeft plaatsgevonden, waarbij gewonden en/of slachtoffers zijn gevallen zal de hulpverlening worden ingezet om eerste hulp te verlenen en de acute gevallen naar het maaiveld te begeleiden. Hierbij is het van belang, dat voldoende ruimte zal zijn in de tunnel om eerste hulp te verlenen. Het is mogelijk dat brand uitbreekt bij een botsing, zie hiervoor hoofdstuk 5.

De kans op een botsing zal voor alle alternatieven gelijk zijn. De oorzaak van een botsing is voornamelijk het falen van het detectie systeem en technische storingen.

Conclusie

Aan de vele botsingen, die hebben plaatsgevonden de afgelopen 15 jaar, is te zien dat botsing een reëel risico is. Bij een botsing met een hoge snelheidstrein zullen de gevolgen ernstiger zijn dan bij een reguliere trein. Met een botsing dient dus zeker rekening gehouden te worden.

Door werkzaamheden aan het spoor in de tunnel of door falen van het detectie systeem is een botsing in de tunnel mogelijk.

Voor de gevolgen van de botsing is met name voldoende ruimte voor de hulpverlening van belang.

7 Hoofdgebeurtenis Ontsporing

7.1 Inleiding

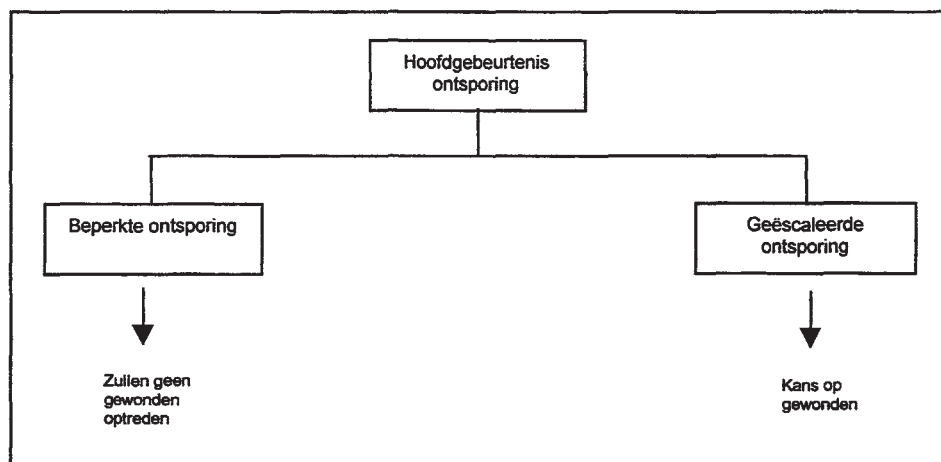
Onder ontsporing wordt verstaan, dat een of meer wielen van de trein niet meer op de spoorstaven staan of rijden. Er wordt onderscheid gemaakt [31] tussen beperkte ontsporing waarbij alle treinwielen van één zijde binnen de spoorstaven blijven en tussen geëscaleerde ontsporing, waarbij een treindeel met beide wielen buiten het spoor komt en delen van de trein kantelen en scharen.

Railned spoorveiligheid heeft een overzicht gemaakt van het ontsporen van treinen tussen 1981 tot en met 1995. In deze 15 jaar hebben 60 ontsporingen plaatsgevonden. De oorzaken hiervan waren een te hoge snelheid en passeren van een stopsein, aanrijding van wegverkeer op overwegen, aanrijding van een object, bedieningsfout, baandefect, wissels, materieel defect en overige oorzaken.

Bij deze ontsporingen was eenmalig een ongeval waarbij 5 doden en 14 zwaar gewonden zijn gevallen.

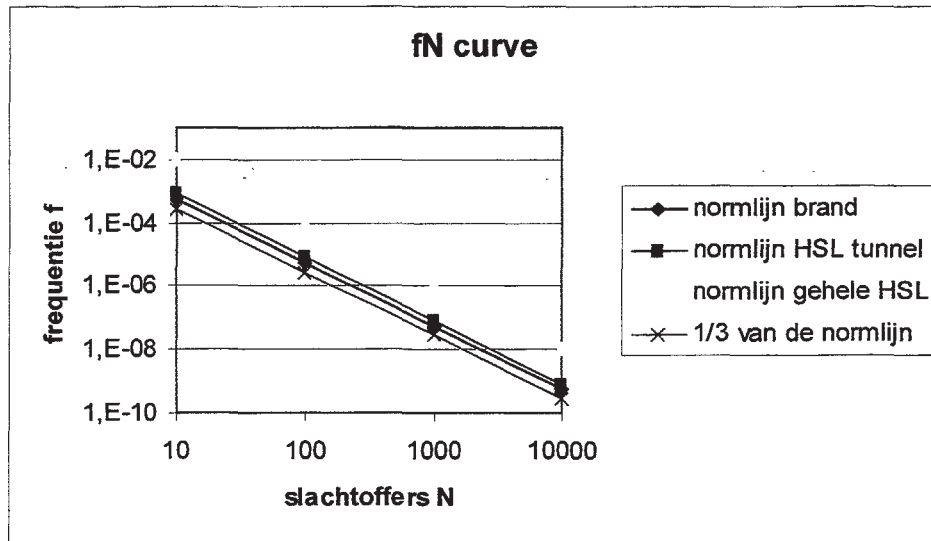
Meer dan de helft van deze ontsporingen, 35 ontsporingen zijn ontstaan door aanrijding van wegverkeer of objecten. Dit zal in de tunnel bij de hoge snelheidslijn niet voorkomen. Snelheidsbeheersing vindt plaats door middel van cabinesignalering en remcurvebewaking, waarbij naleving van tijdelijke snelheidsbeperkingen worden afgedwongen. Een bedieningsfout kan alleen bij het gelijktijdig falen van het beveiligingssysteem tot ontsporing leiden. Hierdoor is de kans op ontsporing van een HSL trein kleiner dan een andere trein. De totale ontsporingkans voor de HSL-Zuid wordt geschat op $1 \cdot 10^{-08}$ per treinkilometer.

Voor de tunnel onder het Groene Hart zal deze kans nog lager liggen. Tevens worden in de tunnel geen wissels aangebracht waardoor de kans op ontsporing klein is.



Figuur 7.1 Hoofdgebeurtenis ontsporing

In paragraaf 5.3 is aangegeven, dat voor de gehele HSL een normlijn is gegeven, voor de tunnel onder het Groene Hart is de norm gesteld op $0,08/N^2$, waarvan 2/3 van dit risico is toegewezen aan het brandscenario. Voor de overige scenario's is 1/3 van de norm beschikbaar.



Figuur 7.2 Normlijn voor de HSL

7.2 Oorzaak van ontsporing

Een ontsporing kan ontstaan door wisseldefecten. In de tunnel zijn geen wissels aanwezig waardoor deze oorzaak wordt uitgesloten.

Door een scheur in de spoorstaafbreuk kan er door het passeren van een trein een hap uit de rails ontstaan. Dit kan tot ontsporing leiden. Bij het passeren van een trein hoort de bestuurder een klap en meldt dit direct waarna inspectie van het spoor volgt.

Bij een scheur in dwarsrichting van de spoorstaaf kan dit resulteren in een breuk waarna wel ontsporing ontstaat.

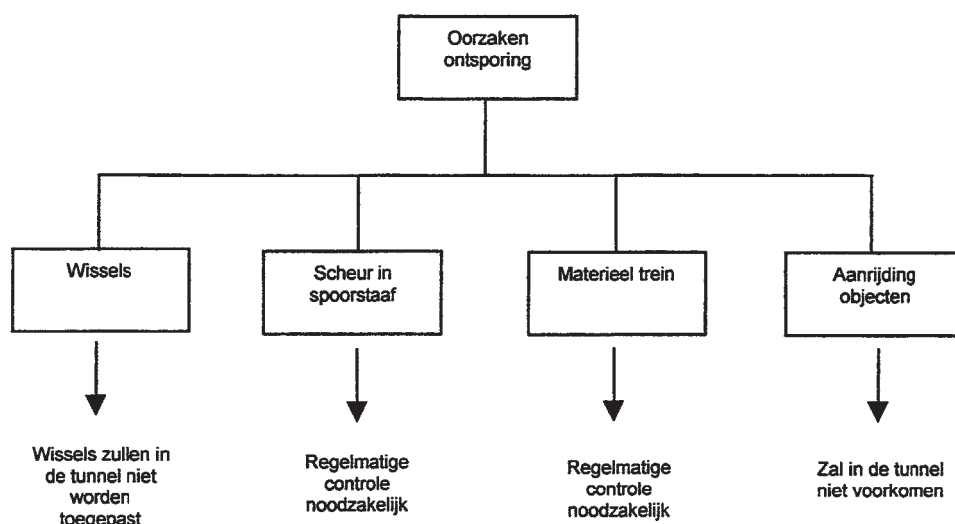
Deze spoorstaafbreuk kan worden opgemerkt door een systeem van treindetectie. Er ontstaat een sectiestoring, doordat de scheur wordt opgemerkt bij de spoorstroomlopen van de vrije baan. Een reguliere inspectie, langs het spoor lopen, kan ook spoorstaafbreuken detecteren, hierdoor wordt ontsporing voorkomen.

Materieeldefecten kunnen ook ontsporing veroorzaken. Bijvoorbeeld een vastgelopen as, verhit en kan tot breuk leiden waarna de trein ontspoord. Dit heet 'hot box'. Indien een temperatuurmeter in de trein wordt ingebouwd kan voorkomen worden, dat de as te heet wordt.

Een heet wiel kan ontstaan, door een vastgelopen rem of door glijden van een, door een rem geblokkeerd, wiel. De hoge temperatuur die ontstaat kan tot brand leiden, schade aan het wiel en ontsporing. Dit kan voorkomen worden door wieldraadetectie en detectie van de remmen en een anti-blokeringsysteem.

Om ontsporing te voorkomen kan spoorgeleiding worden geplaatst. Door berekening is gebleken dat deze geleiding niet goed functioneert. Er wordt vanuit gegaan, dat een betonnen opstort langs het spoor wel goed functioneert. Hierdoor blijft de schade beperkt bij ontsporing. In de tunnel onder het Groene Hart wordt de ontspoorde trein ook opgevangen door de looppaden langs het spoor en de wanden. Hierdoor is de kans op kantelen kleiner dan op het overige stuk van het HSL tracé.

Indien de trein ontspoord kan een andere trein of een ander voertuig worden ingezet voor de evacuatie van de passagiers. Tenzij de ontsporing heeft geleid tot brand, dan wordt het scenario voor brand ingezet. Hulpverlening zal op gang komen indien sprake is van een geëscaleerde ontsporing, omdat er dan gewonden, aanwezig zijn en misschien ook wel doden. Bij een beperkte ontsporing zijn er geen doden en/of gewonden zodat alle passagiers over kunnen stappen op een andere trein of op een voertuig. Over de mate van ontsporing zal door middel van communicatie met de machinist besloten worden of hulpverlening direct noodzakelijk is. Indien de trein door ontsporing op het andere spoor terecht gekomen is, kan er gevaar voor botsing optreden.



Figuur 7.3 Oorzaken ontsporing

7.3 Procesbeschrijving ontsporing

Bij ontsporing zal de machinist contact opnemen met een centraal punt over de ernst van de situatie. Hierbij wordt bepaald wat er aan hulpverlening noodzakelijk is en of er tevens een botsing of brand is ontstaan. De hulpverlening komt op gang. Hulpverleners zullen naar de tunnel toe komen, voor het helpen van eventuele gewonden en personeel, dat de trein zal verwijderen en de schade aan de rails en tunnel zal herstellen. Indien mogelijk zal op hetzelfde spoor of op het tweede spoor een extra trein worden ingezet, zodat de passagiers kunnen overstappen en vervoerd kunnen worden naar het dichtst bijzijnde station. Bij de evacuatie van de passagiers dient het treinpersoneel goede instructies te geven, dat de passagiers moeten blijven zitten in de trein totdat de tweede trein is gearriveerd. Anders ontstaat een gevaarlijke situatie, waarbij passagiers door de tunnel heen lopen terwijl er een trein aan komt.

Conclusie

De kans op een geëscaleerde ontsporing zal door toepassing van betonnen geleiding voor de HSL zeer klein zijn in de tunnel. De kans op ontsporing zal voor alle alternatieven gelijk zijn. De voornaamste oorzaak van ontsporing in de tunnel zal nalatig onderhoud zijn van rails en treinen. Door regelmatige inspectie van de rails en van de trein zal ontsporing voorkomen kunnen worden.

Het is mogelijk dat door ontsporing brand uitbreekt, zie scenario brand.

Het is mogelijk dat door ontsporing een botsing optreedt, zie scenario botsing.

8 Overige gebeurtenissen

8.1 Hoofdgebeurtenis aanrijding bij werken aan infrastructuur

De afgelopen 15 jaar hebben 58 ongevallen plaatsgevonden met personeel van aannemers en personeel dat direct een relatie heeft met het railverkeersysteem. Hierbij vielen 29 doden en 45 gewonden.

Voor de HSL tunnel zal geen trein rijden op het spoor waaraan gewerkt wordt. In de tunnel is geen ruimte voor het instandhoudingspersoneel om zich buiten de gevarezone te begeven, indien er een trein aankomt, waardoor treinverkeer op het werkspoor onmogelijk is. Er bestaat altijd een kans dat door fouten toch een trein op het werkspoor terecht komt. Dan is de kans op letsel groot, aangezien de HST een grote snelheid heeft en dus ook een grotere remweg.

Bij het referentie ontwerp kan op het tweede spoor de HST normaal doorrijden en bij een dubbelsporige tunnel moet de snelheid van de trein gereduceerd worden tot 60 km/uur, zodat het instandhoudingspersoneel geen last heeft van drukgolven.

Het is mogelijk door foute communicatie, storing of door een menselijke fout, dat de trein toch harder rijdt.

De kans dat een trein toch over het spoor rijdt waar aan gewerkt wordt, zal voor alle alternatieven gelijk zijn. De oorzaak hiervan zal een wissel zijn die verkeerd staat of er is verkeerde informatie doorgegeven aan de machinist.

Op het tweede spoor kunnen de treinen doorgang vinden, mits deze de snelheid aanpassen ter plaatse van de werkzaamheden. Door verkeerde communicatie kan dit toch verkeerd gaan. Dit zal een groter risico zijn bij de dubbelsporige boortunnel.

Conclusie

De afgelopen jaren zijn veel doden gevallen onder instandhoudingspersoneel en overig personeel gedurende werkzaamheden aan het spoor. Dit kwam voornamelijk omdat de normale dienstregeling werd gehandhaafd. Bij de HSL-tunnel is dit niet het geval, op het spoor waaraan gewerkt wordt, zullen geen treinen rijden of deze treinen worden omgeleid.

Bij het alternatief zonder fysieke scheiding tussen de sporen zal het instandhoudingspersoneel in een afgesloten ruimte kunnen werken, zodat zij geen hinder ondervinden van treinen op het 2^e spoor. Indien de fysieke scheiding is aangebracht door een scheidingswand zullen de perforaties in de wand ter plaatse van de werkzaamheden gesloten worden.

De HST kan worden uitgevoerd met een detectiesysteem, waarbij de snelheid van de trein wordt gecontroleerd. Hierdoor zal de trein over een bepaald baanvak, in dit geval de tunnel, niet harder kunnen rijden dan een bepaalde snelheid, hier 60 km/uur.

8.2 Hoofdgebeurtenis aanrijding

Onder aanrijding wordt verstaan aanrijding met personen, zoals wegverkeer, reizigers, passanten, treinpersoneel, rangeerders, baanwerkers en overige personen. Of een aanrijding met objecten, zoals obstakels, vee, dienstauto's, verloren lading of gereedschap.

Een aanrijding is in een tunnel niet van toepassing. Aanrijding met obstakels is niet mogelijk doordat niets anders dan treinen door de tunnel zullen rijden en aanrijding met personen kan verkleind worden door het onmogelijk te maken dat personen de rails betreden.

Aanrijding met instandhoudingspersoneel is wel mogelijk en wordt beschreven in het paragraaf beschrijving werken aan infrastructuur.

8.3 Hoofdgebeurtenis elektrocutie

Door de kabels boven de trein loopt hoogspanning. Indien iemand in aanraking komt met deze kabels kan dit fataal zijn. Hulpverleners hebben een hogere kans hiermee in aanraking te komen, indien hulpverleners assisteren bij aanrijding, botsing of ontsporing. De spanning wordt van de kabels af gehaald in het geval van brand voordat begonnen wordt met blussen. Indien de spanning er nog op zit is er kans op elektrocutie. De hoogspanning kan alleen van de kabels af worden gehaald, indien er geen treinen meer op dat gedeelte rail rijden. De kans op elektrocutie zal voor alle alternatieven gelijk zijn.

8.4 Combinatie van risico's

Het is mogelijk dat de ene calamiteit leidt tot de andere calamiteit.

Na ontsporing van de trein kan de trein botsen bijvoorbeeld tegen een obstakel of de wand. Indien de trein een botsing maakt is het mogelijk dat vervolgens brand ontstaat. Gedurende de hulpverlening van een calamiteit kan elektrocutie optreden.

De voornaamst gecombineerde risico's zijn:

- Ontsporing leidt tot botsing.
- Geëscaleerde ontsporing leidt tot brand
- Botsing leidt tot brand

Hierbij zal alleen het eerste geval, ontsporing leidt tot botsing, relevant zijn voor het vergelijken van de verschillende alternatieven. Indien geen fysieke scheiding tussen de sporen wordt aangebracht is het mogelijk dat na ontsporing op de ene rails, door het naderen van een trein op de tweede rails een botsing ontstaat.

8.5 Drukgolven

Door de hoge snelheid waarmee de trein door de tunnel rijdt, ontstaan drukgolven in de tunnel. Dit is voor het reizigerscomfort niet wenselijk. Om deze drukgolven te voorkomen dient genoeg 'vrije ruimte' aangebracht te worden in de tunnel. Voor het referentie ontwerp is dat ca. 60 m². Voor een dubbelsporige tunnel zonder scheiding tussen de sporen een 'vrije ruimte' van 100 m². Voor een dubbelsporige tunnel met een scheidingswand tussen de sporen kan de hoeveelheid 'vrije ruimte' worden gereduceerd tot 50 m² indien de tussenwand voorzien wordt van perforaties. Door perforaties toe te passen van 1%% tot 1% worden de drukgolven beheerst [30]. Dit komt neer op een opening van 10 bij 10 cm per strekkende meter tunnel.

Deze perforaties zijn hinderlijk in het geval van brand, waarbij rook en warmte door de perforaties dringt. Dit kan worden voorkomen door de perforaties afsluitbaar te maken. Dit kan ook voorkomen worden door overdruk te creëren in de andere buis. Deze overdruk wordt ook toegepast om de vluchtdeuren beter zichtbaar te maken voor de vluchtende passagiers.

De rook en warmte is het grootst bovenin de tunnel. Indien de openingen laag in de tunnel worden aangebracht komt er minder rook door de gaten in het geval van brand in de tunnel. Hierbij kunnen de openingen ook weer niet te laag aangebracht worden, aangezien dit hinder geeft aan het instandhoudingspersoneel. In de risicoanalyse wordt er vanuit gegaan dat de perforaties ondoordringbaar zijn voor rook.

In het referentie ontwerp worden ook luchtschachten toegepast naar het maaiveld toe. Bij brand in de tunnel kunnen deze luchtschachten werken als een schoorsteen of de langsventilatie hinderen in de tunnel. Om dit te voorkomen kunnen de luchtschachten afsluitbaar gemaakt worden.

9 Vergelijking verschillende alternatieven

9.1 Inleiding

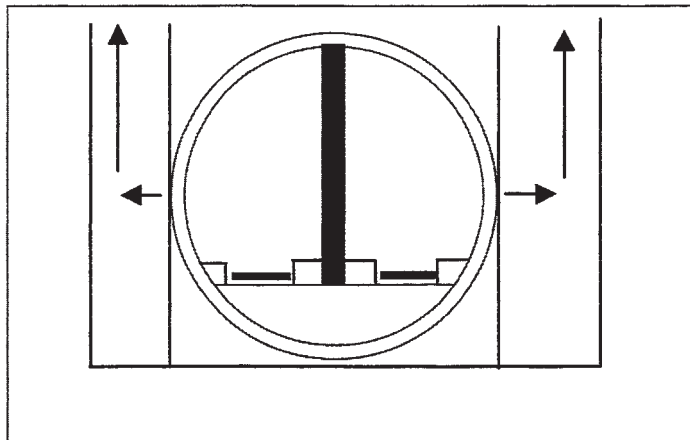
De verschillende alternatieve indelingen voor de dubbelsporige boortunnel worden vergeleken met het referentie ontwerp en de DOT-tunnel voor de verschillende hoofdgebeurtenissen.

Ten eerste volgt per hoofdgebeurtenis een beschrijving van het proces. Met name wordt gekeken naar de veiligheid van personen in de tunnel bij de verschillende hoofdgebeurtenissen, brand, ontsporing, botsing en werken aan infrastructuur. Vervolgens wordt gekeken naar de mogelijkheden van hulpverlening.

In het voorgaande hoofdstuk is naar voren gekomen dat bepaalde risico's verschillend zijn voor verschillende alternatieven.

Bij brand wordt met name gekeken naar de vluchttijd, dit zal het belangrijkste criterium zijn. Bovendien wordt gekeken naar de kans op paniek, of het spoor dient worden overgestoken en naar de diepte van de vluchtschacht, ruimte voor de hulpverlening en de blustijd van de brandweer in de vorm van gebruik van perslucht. Bij ontsporing zal gekeken worden of er kans is op botsing. Bij botsing en aanrijding zal de toegankelijkheid van de hulpverlening bekeken worden en bij werken aan de infrastructuur zal gekeken worden of het instandhoudingspersoneel hinder zal ondervinden van een trein op het tweede spoor.

9.2 Alternatief 1 , dubbelsporige buis met tussenwand



Figuur 9.1 Schets dubbelsporige boortunnel met tussenwand

Brand

Vluchtproces passagiers

De veiliger ruimte is het tweede spoor welke is afgeschermd door een scheidingswand. De vluchtdeuren kunnen zonder veel extra moeite veelvuldig worden aangebracht, waardoor de vluchttijd van de passagiers minimaal kan worden gehouden, deze zal minder dan 10 minuten bedragen. Indien de ventilatie faalt en de overdruk faalt in het andere gedeelte van de tunnel is de kans zeer klein dat er slachtoffers zullen vallen. De passagiers zullen over het vluchtpad langs het tweede spoor de vluchtschacht bereiken. Om bij de vluchtschacht te komen zullen de passagiers het spoor oversteken. De vluchtschacht ligt dieper dan bij het

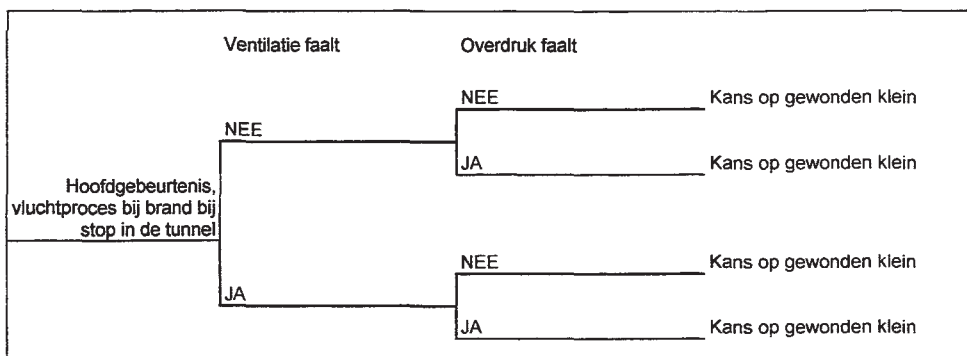
referentie ontwerp, de kans op opstoppingen op de trap door passagiers die buiten adem raken is hierdoor groter.

Brandweer

De brandweer benadert de trein van twee kanten. De brandweer gebruikt de brandlift en de kans is klein dat de brandweer passagiers tegenkomt in de vluchtschacht, de brandweer kan wel passagiers tegenkomen in de tunnel. De brandweer benadert de trein vanuit het veilige tweede spoor, hier heeft de brandweer geen last van rook en zal geen gebruik gemaakt worden van perslucht. Zodra de brandweer het deel van de tunnel bereikt met de brandende trein zal de perslucht pas nodig zijn, waardoor de blustijd van de brandweer maximaal zal zijn.

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening kan het tweede spoor gebruiken om eerste hulp te verlenen aan slachtoffers. Echter de kans op slachtoffers is uitermate klein bij dit ontwerp.



Schema 9.1 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met tussenwand

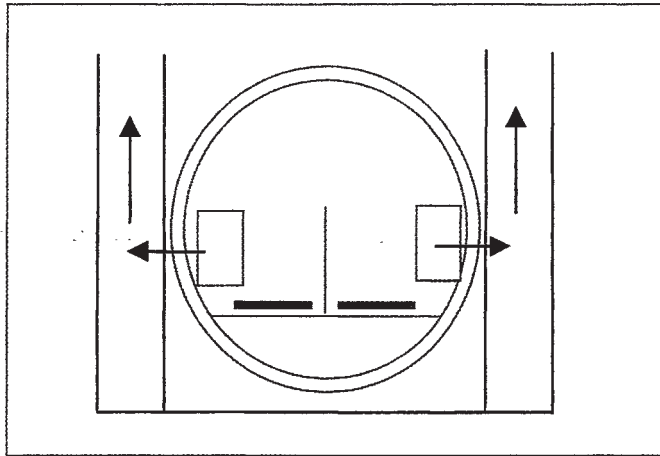
Voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met scheidingswand geldt, dat voor alle mogelijke gebeurtenissen de kans zeer klein is dat gewonden optreden.

Bij botsing en ontsporing in de tunnel is voldoende ruimte aanwezig voor hulpverlening.

Botsing na ontsporing is door de aangebrachte wand niet mogelijk.

Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails, zal het instandhoudingspersoneel beperkt last hebben door de wand.

9.3 Vluchtproces alternatief 2, Dubbelsporige tunnel met twee vluchtgangen



Figuur 9.2 Dubbelsporige boortunnel met twee vluchtgangen naast de sporen

Passagiers

De vluchttijd zal minimaal zijn doordat de passagiers snel de veilige ruimte zullen bereiken, minder dan 10 minuten. Door de gesloten vorm van de veilige ruimte is wel kans op paniek bij de passagiers.

Bij het betreden van de vluchtschacht wordt geen spoor overgestoken wel is een diepe vluchtschacht aanwezig, wat vertraging kan opleveren.

De kans op gewonden zal zoals bij alternatief 1, zeer klein zijn door de korte vluchttijd.

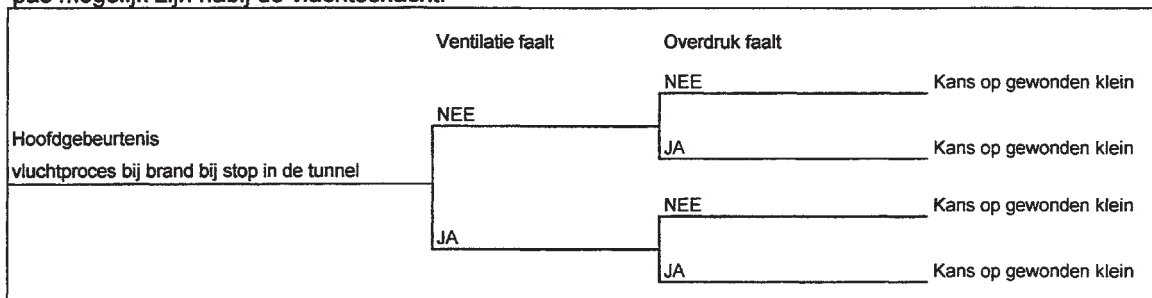
Brandweer

De brandweer kan zonder gebruik van perslucht de brandende trein bereiken door de vluchtgang.

Door de gescheiden vluchtgangen zal de brandweer de passagiers niet tegenkomen in de tunnel.

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening heeft bij dit alternatief minder ruimte in de veilige ruimte om eerste hulp te verlenen. Dit zal pas mogelijk zijn nabij de vluchtschacht.



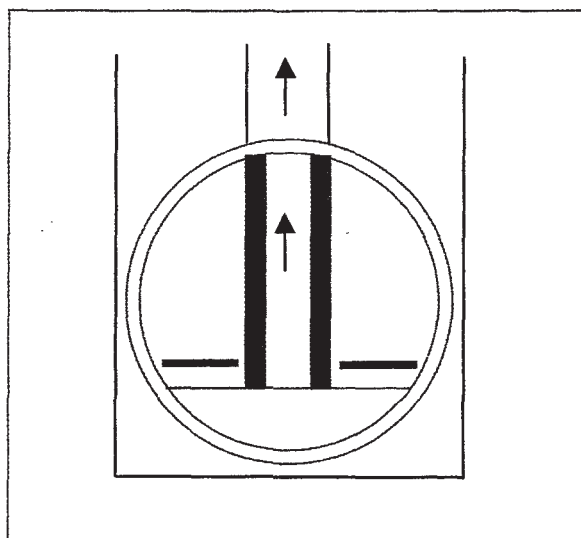
Schema 9.2 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met twee vluchtgangen

Bij botsing en ontsporing in de tunnel zijn vluchtgangen aanwezig waar hulpverlening kan plaatsvinden, deze ruimte is beperkt.

Botsing na ontsporing is mogelijk doordat een fysieke scheiding niet aanwezig is tussen de sporen.

Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails zal het instandhoudingspersoneel hinder ondervinden.

9.4 Vluchtproces alternatief 3, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang tussen de sporen



Figuur 9.3 Dubbelsporige boortunnel met vluchtgang tussen de sporen

Passagiers

Korte vluchttijd doordat de veilige ruimte snel bereikt kan worden, in minder dan 10 minuten. Door de gesloten vorm van de veilige ruimte is kans op paniek. De vluchtschacht is direct bereikbaar en wordt minder diep. De kans op gewonden zal zoals bij alternatief 1, zeer klein zijn door de korte vluchttijd.

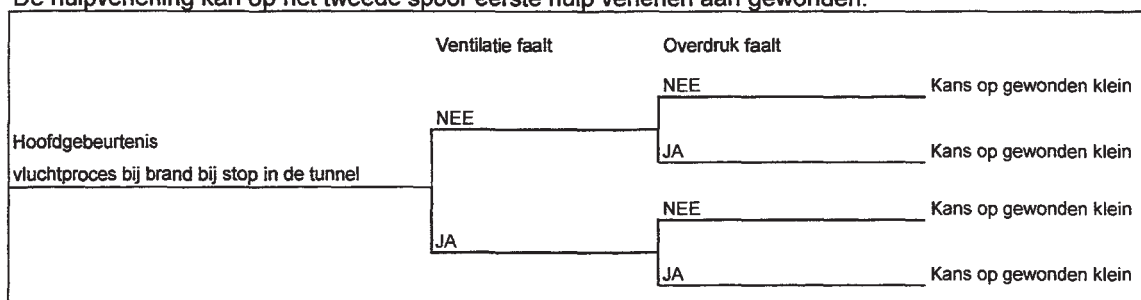
Brandweer

De brandweer kan gebruik maken van het vluchtpad langs het tweede spoor of kan over het tweede spoor de brandende trein bereiken. Hierbij komt de brandweer geen passagiers tegen.

De brandweer kan de brandende trein bereiken zonder toepassing van perslucht.

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening kan op het tweede spoor eerste hulp verlenen aan gewonden.



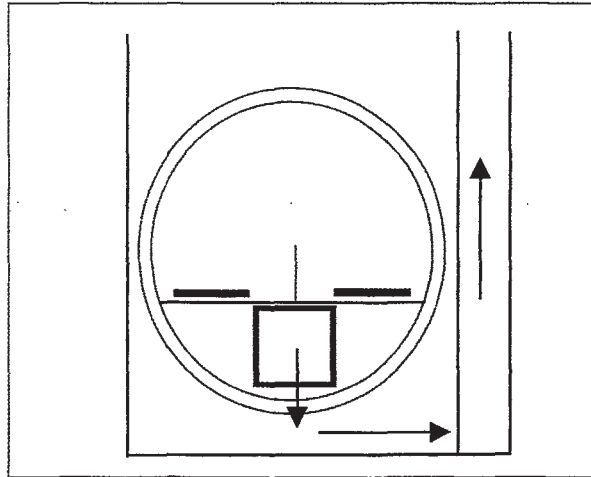
Schema 9.3 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met vluchtgang tussen de sporen

Bij botsing en ontsporing in de tunnel is een vluchtgang aanwezig waar hulpverlening kan plaatsvinden, deze ruimte is beperkt.

Botsing na ontsporing is niet mogelijk door fysieke scheiding tussen de sporen.

Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails zal het instandhoudingspersoneel geen last hebben door de aangebrachte dubbele wand.

9.5 Vluchtproces alternatief 4, Dubbelsporige tunnel met vluchtgang onder de sporen



Figuur 9.4 Dubbelsporige boortunnel met vluchtgang onder de sporen

Passagiers

Vluchttijd is kort door het snel bereiken van de veilige ruimte, minder dan 10 minuten. Kans op paniek is groot door het vluchten naar beneden toe in een gesloten ruimte. Vanuit veilige ruimte is de vluchtschacht direct bereikbaar, deze wordt echter wel dieper aangelegd.

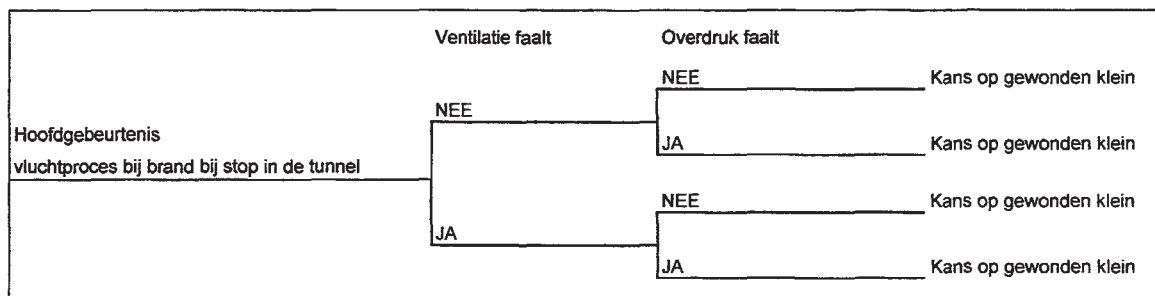
De kans op gewonden zal zeer klein zijn door de korte vluchttijd.

Brandweer

De brandweer maakt gebruik van dezelfde vluchtgang als de passagiers, bij langzame evacuatie is het mogelijk dat de brandweer passagiers tegen komt. De brandweer kan de brandende trein benaderen zonder gebruik van perslucht door de vluchtgang.

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening heeft weinig ruimte om eerste hulp te verlenen in de vluchtgang.



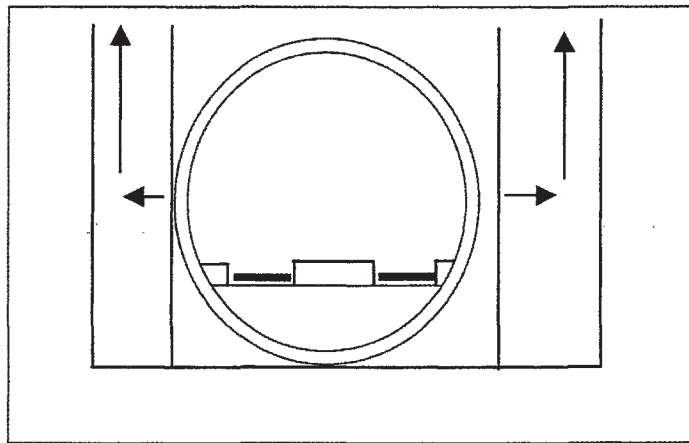
Schema 9.4 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met vluchtgang onder de sporen

Bij botsing en ontsporing in de tunnel is een vluchtgang aanwezig waar hulpverlening kan plaatsvinden, deze ruimte is beperkt.

Botsing na ontsporing is mogelijk doordat een fysieke scheiding niet aanwezig is tussen de sporen.

Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails zal het instandhoudingspersoneel hinder ondervinden.

9.6 Vluchtproces alternatief 5, Dubbelsporige tunnel met vluchtschachten



Figuur 9.5 Schets dubbelsporige boortunnel met vluchtschacht

Passagiers

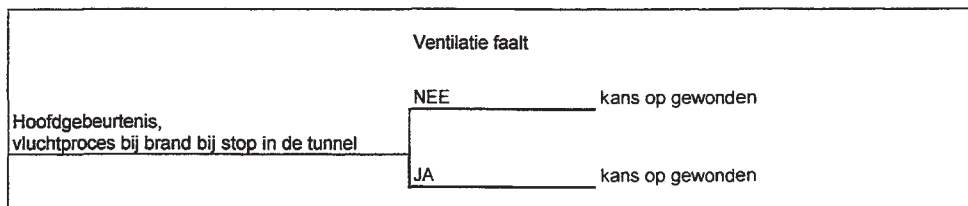
Lange vluchttijd doordat de veilige ruimte bij dit alternatief de vluchtschacht zal zijn. De vluchttijd bedraagt minder dan 55 minuten, afhankelijk van de plaats waar de trein zal stoppen.

Brandweer

Brandweer zal direct perslucht nodig hebben bij het betreden van de tunnel. Hierbij is het mogelijk dat de brandweer passagiers en/of gewonden tegen komt in de tunnel.

Hulpverlening bij brand

Hulpverlening zal pas hulp kunnen verlenen zodra de passagiers de vluchtschacht hebben bereikt.



Schema 9.5 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met vluchtschachten

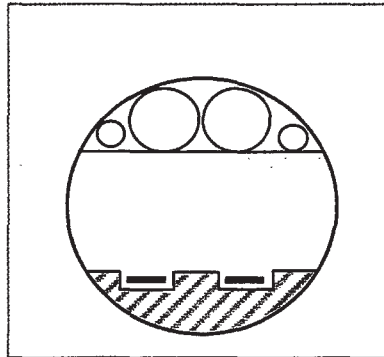
In dit alternatief is de veilige ruimte de vluchtschacht welke om de 1000 of 2000 meter zal worden aangebracht. De vluchttijd zal groter zijn dan 20 minuten waardoor de kans op ademhalingsproblemen groot is.

Bij botsing en ontsporing in de tunnel is voldoende ruimte aanwezig voor de hulpverlening.

Botsing na ontsporing is mogelijk door ontbreken van fysieke scheiding tussen de sporen.

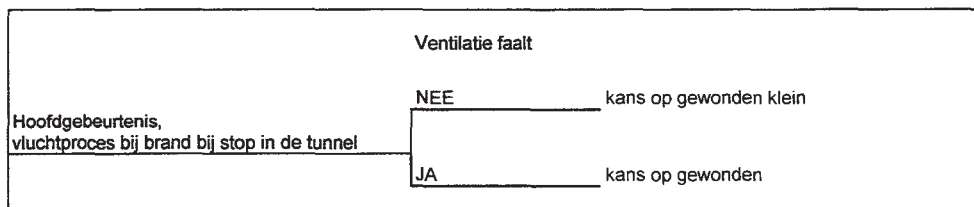
Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails zal het instandhoudingspersoneel hinder ondervinden.

9.7 Vluchtproces alternatief 6, Dubbelsporige tunnel met een selectieve rookafzuiging



Figuur 9.6 Dubbelsporige tunnel met selectieve rookafzuiging

Lange vluchttijd van de passagiers, indien de rookafzuiging niet voldoende werkt zal dezelfde situatie ontstaan als bij alternatief 5.

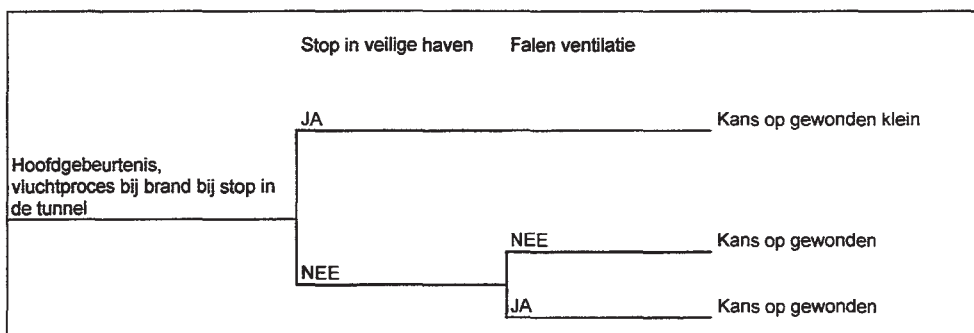


Schema 9.6 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met selectieve rookafzuiging

Deze rook afzuiging zal de lucht in de tunnel 70 maal moeten verdunnen zodat de passagiers zonder ademhalingsmoeilijkheden de vluchtschacht bereiken. Het is nog niet aangetoond dat selectieve rookafzuiging de lucht voldoende verdund.

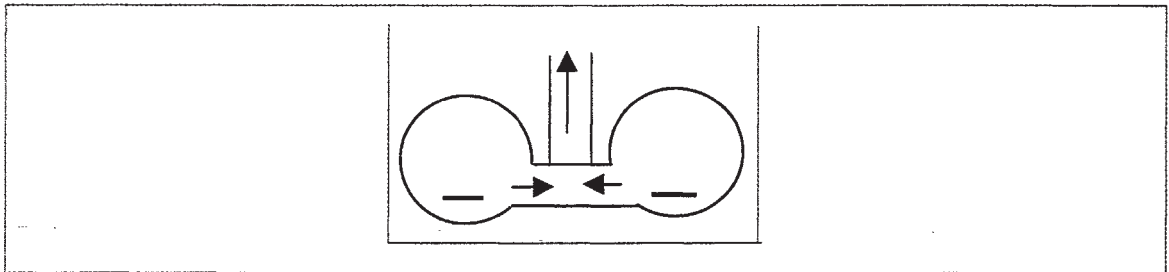
9.8 Vluchtproces alternatief 7, Dubbelsporige tunnel met veilige haven

Indien de trein in de veilige haven stopt kunnen de passagiers direct het maaiveld bereiken, waardoor de vluchttijd minder dan 10 minuten wordt. Stopt de trein op een willekeurige plaats in de tunnel dan ontstaat dezelfde situatie als bij alternatief 5, de vluchttijd zal dan minder dan 55 minuten bedragen, afhankelijk van de plaats waar de trein stopt.



Schema 9.7 Gebeurtenissenboom voor het alternatief dubbelsporige boortunnel met veilige haven

9.9 Vluchtproces Referentie ontwerp



Figuur 9.7 Referentie ontwerp

Passagiers

De passagiers kunnen redelijk snel een dwarsverbinding bereiken, de vluchttijd bedraagt minder dan 11 minuten. In het referentie ontwerp wordt een afstand van 300 meter aangehouden tussen de dwarsverbindingen. Indien de ventilatie faalt zullen er wel een aantal slachtoffers vallen, doordat een aantal passagiers niet binnen 10 minuten de dwarsverbinding hebben bereikt.

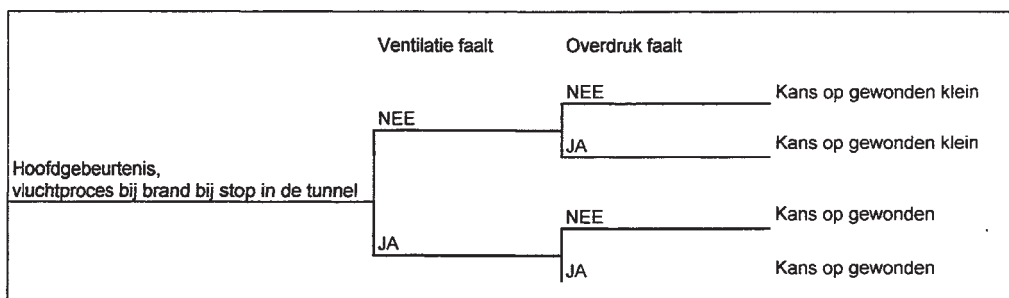
Indien de dwarsverbinding is bereikt lopen de passagiers over het vluchtpad door de tweede tunnel richting vluchtschacht. Voor het bereiken van de vluchtschacht hoeft het spoor niet te worden overgestoken en de vluchtschachten zijn minder diep dan bij de dubbelsporige alternatieven.

Brandweer

De brandweer bereikt met de brandlift de tunnel en kan door het vluchtpad aan de buitenzijde van de tunnel richting trein lopen. De brandweer heeft pas perslucht nodig indien de onveilige tunnelbuis wordt betreden, waardoor de brandweer de maximale tijd kan besteden om de brand te blussen.

Hulpverlening bij brand

De hulpverlening kan in de tweede buis eerste hulp verlenen aan de slachtoffers.



Schema 9.8 Gebeurtenissenboom voor het referentie ontwerp met dwarsverbindingen

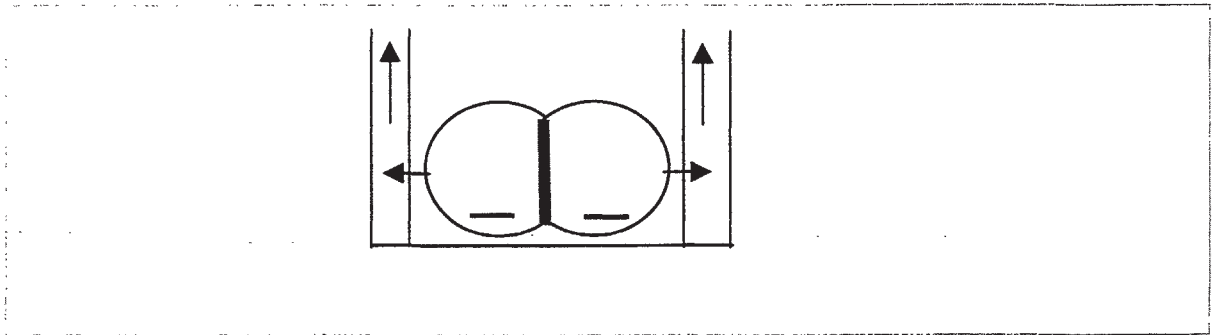
Kans op gewonden is klein door de snelle vluchttijd bij het referentie ontwerp.

Bij botsing en ontsporing in de tunnel is voldoende ruimte aanwezig voor hulpverlening.

Botsing na ontsporing is door de aangebrachte wand niet mogelijk.

Bij te hard rijden op het tweede spoor bij het werken aan de rails zal het instandhoudingspersoneel geen last hebben, doordat beide sporen gescheiden zijn door dwarsverbindingen.

9.10 Vluchtproces DOT tunnel



Figuur 9.8 DOT tunnel

Het alternatief DOT-tunnel is gelijkwaardig aan alternatief 1, dubbelsporige boortunnel met scheidingswand met het enige verschil dat de vluchtschacht minder diep wordt aangelegd. De vluchtschacht krijgt dezelfde diepte als bij het referentie ontwerp.










9.11 Overzicht

Inleiding

De verschillende criteria zijn voor de verschillende alternatieven in schema gezet. De criteria zijn in volgorde van belangrijkheid neergezet. Aan elk criteria is een wegingsfactor verbonden. Per criteria is gekeken naar het gevaar voor mensenlevens. Het criterium waarbij dit gevaar het grootst is wordt de grootste wegingsfactor meegegeven. De vluchttijd van passagiers is in grote mate afhankelijk van het aantal overlevenden in geval van brand. Dit criterium weegt zwaarder mee in de beoordeling dan de overige criteria. Door het toepassen van wegingsfactoren is te zien welk alternatief als 'veiligst' beschouwd kan worden.

Brand

Hieronder is een overzicht gegeven van de verschillende alternatieven met de belangrijkste criteria met betrekking tot de gebeurtenis brand.

		Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	RO	DOT
										
Brand										
1 Vluchttijd in minuten	0,25	<7	<7	<7	<7	< 55	< 55	< 7 of < 55	< 11	< 7
2 Ruimte hulpverlening	0,21	ja	Nee	nee	nee	Nee	nee	nee	ja	ja
3 Brandweer komt pass. tegen	0,18	ja	Nee	nee	ja	Ja	ja	ja	ja	ja
4 Kans op paniek	0,14	nee	Ja	ja	ja	Nee	nee	nee	ja/nee	nee
5 Oversteken spoor	0,11	ja	Nee	nee	nee	Nee	nee	nee	nee	ja
6 Diepe schacht	0,07	ja	Ja	nee	ja	Ja	ja	ja	nee	nee
7 Perslucht nodig	0,04	nee	Nee	nee	nee	Ja	ja	ja	nee	nee
Totaal	1,0	0.36	0.21	0.35	0.6	0.75	0.75	0.75	0.57	0.29


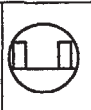





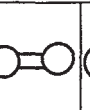

Bij hoofdgebeurtenis brand is het veiligste alternatief, alternatief 2, de dubbelsporige boortunnel met twee vluchtgangen naast de sporen. Vervolgens is de DOT tunnel het veiligst bij hoofdgebeurtenis brand. Daarna zijn alternatief 1, dubbelsporige boortunnel met scheidingswand en alternatief 3, dubbelsporige boortunnel met vluchtgang tussen de sporen ongeveer even veilig. Hierbij is duidelijk te zien dat een tunnel zonder aparte vluchtgang niet veilig is in het geval van de hoofdgebeurtenis brand.

Opmerking

De begrippen 'kans op paniek' en 'ruimte hulpverlening' zijn subjectieve begrippen. Hierbij is aangenomen dat een volledig gesloten vluchtgang meer kans op paniek geeft dan een open tweede spoor met vluchtpaden. Bij de ruimte voor de hulpverlening geldt dat in een gesloten vluchtgang de hulpverlening minder ruimte zal hebben dan op een veilig tweede spoor.

Ontsporing








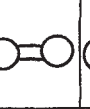

In onderstaand schema wordt bekeken bij welke alternatieven kans is op botsing na een ontsporing. Dit is mogelijk indien geen fysieke scheiding is aangebracht tussen de sporen.

Ontsporing									
									
	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	RO	DOT
Kans op botsing	nee	ja	nee	ja	ja	ja	Ja	nee	nee

Een botsing na een ontsporing zal bij de alternatieven, alternatief 1, DST met scheidingswand, alternatief 3, DST, met vluchtgang tussen de sporen, het referentie ontwerp en de DOT tunnel niet voorkomen.










In de voorgaande hoofdstukken is te zien dat veel doden en gewonden ontstaan door ontsporing en door botsing. Daarom is het criterium of er een botsing kan plaatsvinden na een ontsporing een belangrijk criterium. De alternatieven waarbij geen fysieke scheiding tussen de sporen is aangebracht voldoen niet aan dit criterium.

Botsing en aanrijding

Botsing en aanrijding									
									
	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	RO	DOT
Ruimte hulpverlening	ja	nee	nee	ja	ja	ja	Ja	ja	ja

Bij botsing en aanrijding zal voldoende ruimte aanwezig moeten zijn om eerste hulp te verlenen. Bij alternatief 2, DST met vluchtgang tussen de sporen, en alternatief 3, DST met vluchtgang aan beide zijden van de tunnel, ontstaat door de gesloten ruimte van de vluchtgang weinig ruimte om eerste hulp te verlenen. Hierbij wordt bij alternatief 2, DST met een vluchtgang tussen de sporen vanuit gegaan dat eerste hulp wel op een vluchtpad kan worden verleend, maar niet bovenop de sporen van de rails. Bovendien is er in de andere tunnels meer ruimte om te manoeuvreren met een brancard.

Werken aan infrastructuur

Werken aan infrastructuur									
									
	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	RO	DOT
Hinder door 2° spoor	ja/nee	ja	nee	ja	ja	ja	Ja	nee	ja/nee

Bij wegwerkzaamheden aan de rails zal bij de alternatieven 3, DST met vluchtgang russen de rails en het referentie ontwerp zeker geen hinder ondervonden worden van de trein op het 2° spoor. Bij de DOT tunnel en alternatief 1, DST met scheidingswand zal het instandhoudingspersoneel geen last hebben van een trein op het 2° spoor mits de perforatie gaten hoog genoeg zijn aangebracht of gesloten worden.

Conclusie

Bij vergelijking van de verschillende alternatieven blijkt de DOT tunnel het veiligst te zijn. Vervolgens is alternatief 1, de dubbelsporige boortunnel met scheidingswand, daarna alternatief 3, de dubbelsporige boortunnel met vluchtgangen langs de sporen en vervolgens alternatief 2, de dubbelsporige boortunnel met vluchtgang tussen de sporen, het veiligst.

Gesteld kan worden, op basis van bovenstaande vergelijking, dat de dubbelsporige boortunnel veiliger is dan het referentie ontwerp. Met betrekking tot de veiligheid in een tunnel in gebruiksfase is de dubbelsporige boortunnel een haalbaar alternatief ten opzichte van het referentie ontwerp.

10 Conclusie en aanbevelingen

Van de risico's met betrekking tot de eindfase is met name de veiligheid in de tunnel van belang bij het toepassen van een dubbelsporige boortunnel.

Door tussen beide sporen een fysieke scheiding aan te brengen in de vorm van een scheidingswand is een dubbelsporige boortunnel veiliger dan het referentie ontwerp, mits de scheidingswand voldoet aan de gestelde eisen van brandveiligheid, sterkte en afscheidend vermogen tegen rook en warmte.

Minder veilig is de dubbelsporige tunnel met betrekking tot het kruisen van het spoor om bij een vluchtschacht te komen en de afstand tot het maaiveld is groter doordat de tunnel dieper wordt aangelegd waardoor de vluchtschachten ook dieper zullen zijn. Hierbij zijn de passagiers al aangekomen in de veilige ruimte waardoor deze risico's vertraging opleveren in de vluchttijd maar geen levensbedreigende situatie vormen. Bij werkzaamheden aan de rails dient erop gelet te worden dat de perforatie ter hoogte van de werkzaamheden zijn gesloten.

De dubbelsporige boortunnel is veiliger dan het referentie ontwerp met betrekking tot brand. In het geval van brand zullen alle passagiers de veilige ruimte kunnen bereiken voordat letsel optreedt, door het aanpassen van de afstand van de vluchtdeuren. De vluchtdeuren in de dubbelsporige tunnel kunnen om de 150 meter worden aangebracht.

Met betrekking tot de risico's in de eindfase is een dubbelsporige boortunnel met een scheidingswand tussen de sporen een haalbaar alternatief voor het referentie ontwerp.

In het volgende deel van dit afstudeerwerk zal bepaald worden of een dubbelsporige boortunnel een haalbaar alternatief is met betrekking tot de uitvoeringsrisico's. Hierbij wordt uitgegaan van alternatief 1, een dubbelsporige boortunnel met scheidingswand.

Algemene conclusie met betrekking veiligheid in de tunnel onder het Groene Hart

De reden, waarom de brand uitgroeit tot een brand welke niet meer te blussen is, zal voornamelijk afhangen van het functioneren van het detectiesysteem. Indien een sprinklerinstallatie wordt geplaatst in trein en tunnel zal de brand direct worden gedoofd.

Bij de kanaaltunnel was het grootste probleem communicatie, het lokaliseren van de trein en het doorgeven van verkeerde instructies en signalen.

Dodelijke ongevallen bij treinongelukken ontstaan juist bij botsing en ontsporing en niet bij brand blijkt uit gegevens met betrekking tot treinbranden in de afgelopen 15 jaar. Door de indeling van de tunnel aan te passen zal de kans op botsing en ontsporing niet afnemen. De dwarsverbindingen in het referentie ontwerp zullen dus alleen aangebracht worden voor de hoofdgebeurtenis brand.

Omdat de kans op een brand uitermate klein is, rijst de vraag of het de extra investeringen, die nu worden besteed aan het aanpassen van het ontwerp van de tunnel en aan dwarsverbindingen in de tunnel, niet beter kunnen worden uitgegeven aan extra apparatuur om storingen te detecteren, het aanpassen van het communicatiesysteem en duidelijke instructies aan personeel in de trein en het personeel in de controle kamer. Indien iedereen weet wat hij of zij moet doen in welke situatie zal de kans op calamiteiten afnemen. De meeste ongelukken ontstaan nog steeds door menselijke fouten.

Om ondanks de kleine kans op brand hierbij ongelukken geheel uit te sluiten kan een sprinkler installatie worden geplaatst in trein en tunnel met brandmelders. In de trein kunnen net zoals bij vliegtuigen boven elke stoel zuurstofflesjes geplaatst worden zodat letsel door intoxicatie niet zal optreden.

Een voordeel van een dubbelsporige tunnel is hierbij dat het aanbrengen van een wand met vluchtdeuren niet een zeer grote extra investering zal zijn in de tunnel. Bij het referentie ontwerp zijn de dwarsverbindingen wel een grote extra investering.

Aanbevelingen

Door de kans te bepalen op de verschillende gebeurtenissen, kunnen de verschillende alternatieven kwantitatief vergeleken worden.

Nader onderzoek naar de exacte kans op brand in een tunnel is gewenst. Aan de hand hiervan kan bepaald worden of de gehanteerde kromme juist is. De HSL-organisatie hanteert een normlijn waarbij tweederde van de norm wordt toegeschreven aan brand. Door de kans op brand te bepalen kan gekeken worden of deze normlijn goed is en of het rechtvaardig is dat tweederde van de norm wordt toegeschreven aan brand.

Door het bepalen van de kans op brand kan gekeken worden of de hoeveelheid investeringen om de tunnel veiliger te maken gerechtvaardigd is.

Documentenoverzicht

- [1] 4. Röhre Elbtunnel, folder
- [2] Herrenknecht, Bundesrepublik Deutschland Freie Hansestadt Hamburg, 4. Röhre Elbtunnel, folder
- [3] Projectorganisatie HSL zuid, Bouwplaatsbezoek Elbetunnel 17-20 september 1998
- [4] Trans Tokyo Bay Highway corporation, Trans Tokyo Bay Highway, folder
- [5] Questions concerning the Trans-Tokyo-Bay-Highway Tunnel
- [6] Makoto Kanai, Design and construction planning of large bore slurry shield in Trans-Tokyo Bay highway project, Trans-Tokyo Bay Highway corporation, Tokyo, Japan.
- [7] Keinosuke Uchida, Yujirou Wasa, Makoto Kanai, Design of the Shield Tunnel for the Trans-Tokyo Bay Highway, 1992, Tunneling and Underground Space Technology, Great Britain.
- [8] Kosterman, H, Nellestein, D.W., Veenma, M., Boortunnel Groene Hart HSL-Zuid
Haalbaarheidsstudie Double-O-Tube (DOT), oktober 1998, Projectorganisatie HSL Zuid, Utrecht
- [9] Lokhorst, S, Enkelsporige en dubbelsporige tunnels, december 1997, Projectorganisatie HSL Zuid, Utrecht.
- [10] Haalbaarheidsstudie Lange Tunnels, Projectbureau Hogesnelheidslijn-Zuid Infra,
- [11] Lokhorst, S., Diepteligging tunnelvarianten, memo, februari 1998, Projectorganisatie HSL Zuid, utrecht.
- [12] CUR publicatie 190, Kansen in de civiele techniek, deel1: Probabilistisch ontwerpen in theorie, maart 1997, Stichting CUR, Gouda
- [13] Brascamp, M.H., Snel, H.H., Eisen- en ontwerpverantwoording Veiligheid VO, juli 1998, Projectbureau HSL Zuid, Utrecht.
- [14] Molag, M., Sluijs, L., Wiersma, T., Veiligheidsanalyse Groene Hart-tunnel, september 1998, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
- [15] Smolders, B.P., Integrale veiligheid spoortunnels, 1998, Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra, Utrecht.
- [16] Molag, M., Sluijs, L., Wiersma, T., HSL-zuid: Analyse veiligheid tunnel, Kwantitatief risicoanalyse model, brand in een boortunnel, juni 1998, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
- [17] Koppens, H.A.ir., Griffioen, E, drs., Groene Hart – tunnel, Een onderzoek naar de vluchtijden in de HSL-Zuidtunnel onder het "Groene Hart", april 1998, Railed Spoorwegveiligheid, Utrecht.
- [18] Broere, W. Polen B. Risicos's en storingen bij geboorde tunnels, Technische Universiteit Delft, juni 1996, Faculteit der Civiele Techniek, sectie Grondmechanica, Delft.
- [19] Kivi, Boren van tunnels voor rail- en weg verbindingen, Eindrapportage, Afdeling voor Tunneltechniek en Ondergrondse Werken, augustus 1993.
- [20] Kinderen van, S. Risicoanalyse van een geboorde tunnel, TU Delft, juni 1995, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde, Delft.
- [21] Kwak, L. Een technisch-economische haalbaarheidsonderzoek naar standaardisatie van boortunnels, augustus 1996, TU Delft faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde, delft.
- [22] Molag, Jansen, Kwantitatieve risico-analyse model tunnelvarianten, Voortgangsrapport, HSL analyse veiligheid tunnel, januari 1998, Utrecht.
- [23] Stuijffmeel, Scenario's treinbranden tunnelstudie HSL zuid, Railed spoorveiligheid, januari 1998
- [24] Molag, Sluis, Wiersma, Analyse veiligheid tunnel, Kwantitatief risico-analyse model voor tunnelvarianten

- [25] Torn, van der, Luchtkwaliteitseisen voor veilig vluchten bij brand uit tunnels, concept, GGD Rotterdam, november 1998, Rotterdam.
- [26] Molag, Sluijs, Wiersma, Concept eindrapport HSL zuid Analyse veiligheid tunnel toepassingen van het kwantitatieve risicoanalyse model voor zes cases, TNO Milieu Energie en Procesinnovatie, mei 1998, Delft.
- [27] Heyman, Lille, Onderzoek naar optimalisatie van de afstand tussen de dwarsverbindingen in de Westerscheldetunnel, Ministerie van Binnenlandse zaken Directie Brandweer en Rampenbestrijding, Afdeling Veiligheidsbeleid, januari 1997.
- [28] Vooren, van der, Boortunnel "Groene Hart" Scenario voor hulpverleners, concept, augustus 1998.
- [29] Regionale brandweer Rijnland, faxbericht, 15-10-1998.
- [30] Wijnands, Veilige tunnels, Een balans tussen voorkomen, redden en bestrijden, februari 1998
- [31] Schoot, Stufmeel, Steenhof, Risicobeheersing ontsporing, Kwantitatieve analyse, maart 1998
- [32] Stufmeel, Treinbotsingen IVP HSL Zuid deelrapport 2, kwantitatieve analyse, Railed Spoorwegbeveiliging, juni 1998
- [33] Heijman, Risicobeheersing aanrijding instandhoudingspersoneel, april 1998
- [34] Steenhuis, Proijen, Courage, Trillingsmissie nabij de Groene Hart Tunnel, TNO rapport, april 1998, Delft
- [35] Binneveld, Ondergronds Bouwen in Japan, Een reis langs projecten in Japan, TU Delft Bouwmanagement & Vastgoedbeheer, Nederlands studie centrum, 1997, Vlaardingen
- [36] Folder Underground river, Aiming at a flood-free world city, Tokyo Metropolitan Government, Tokyo
- [37] Folder, Kanda River, Loop 7 Underground Regulation Pnd Works, World city Tokyo, Now, The River Goes Underground, 3rd Construction office, Tokyo Metropolitan Government, Tokyo

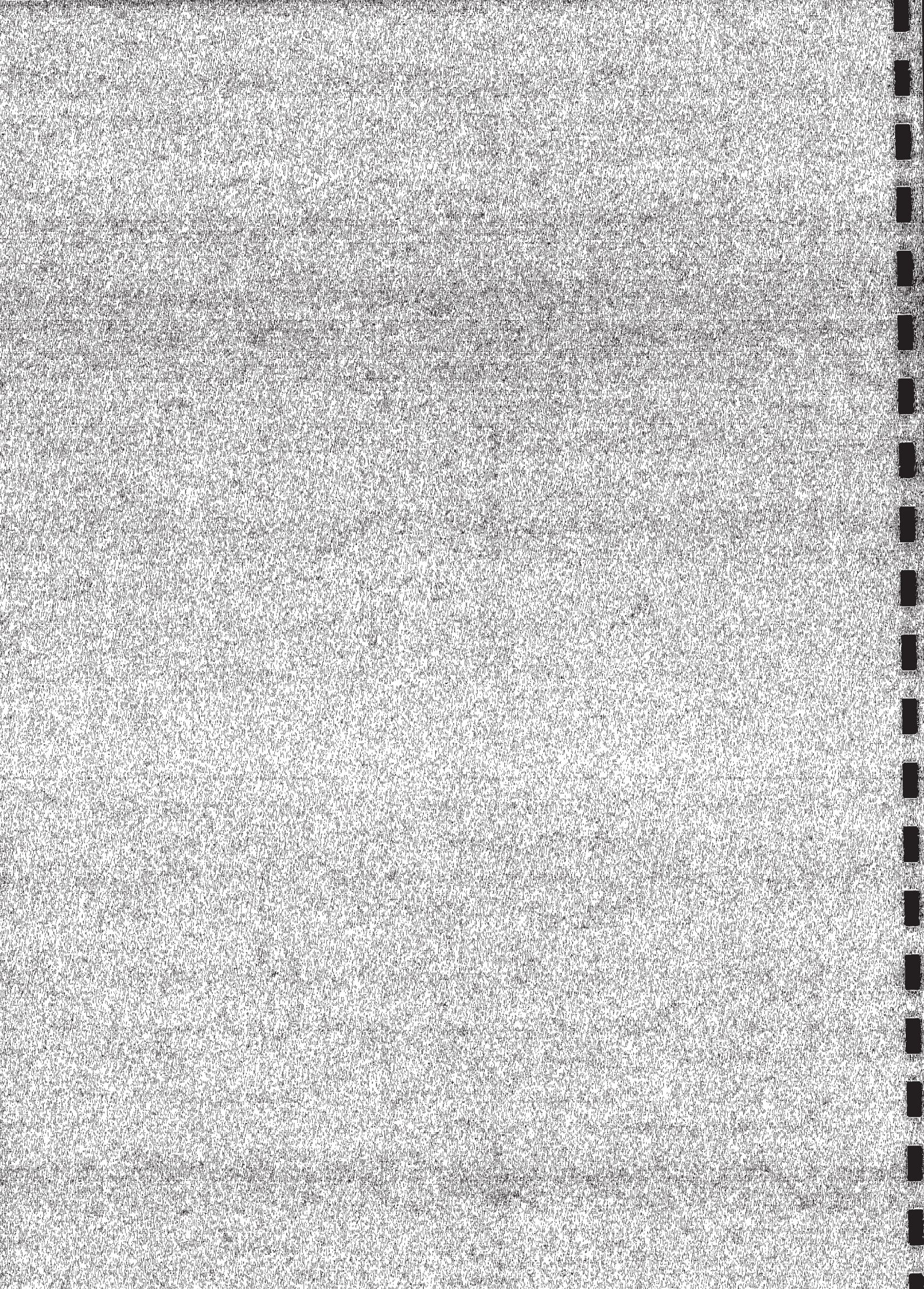
Internet sites:

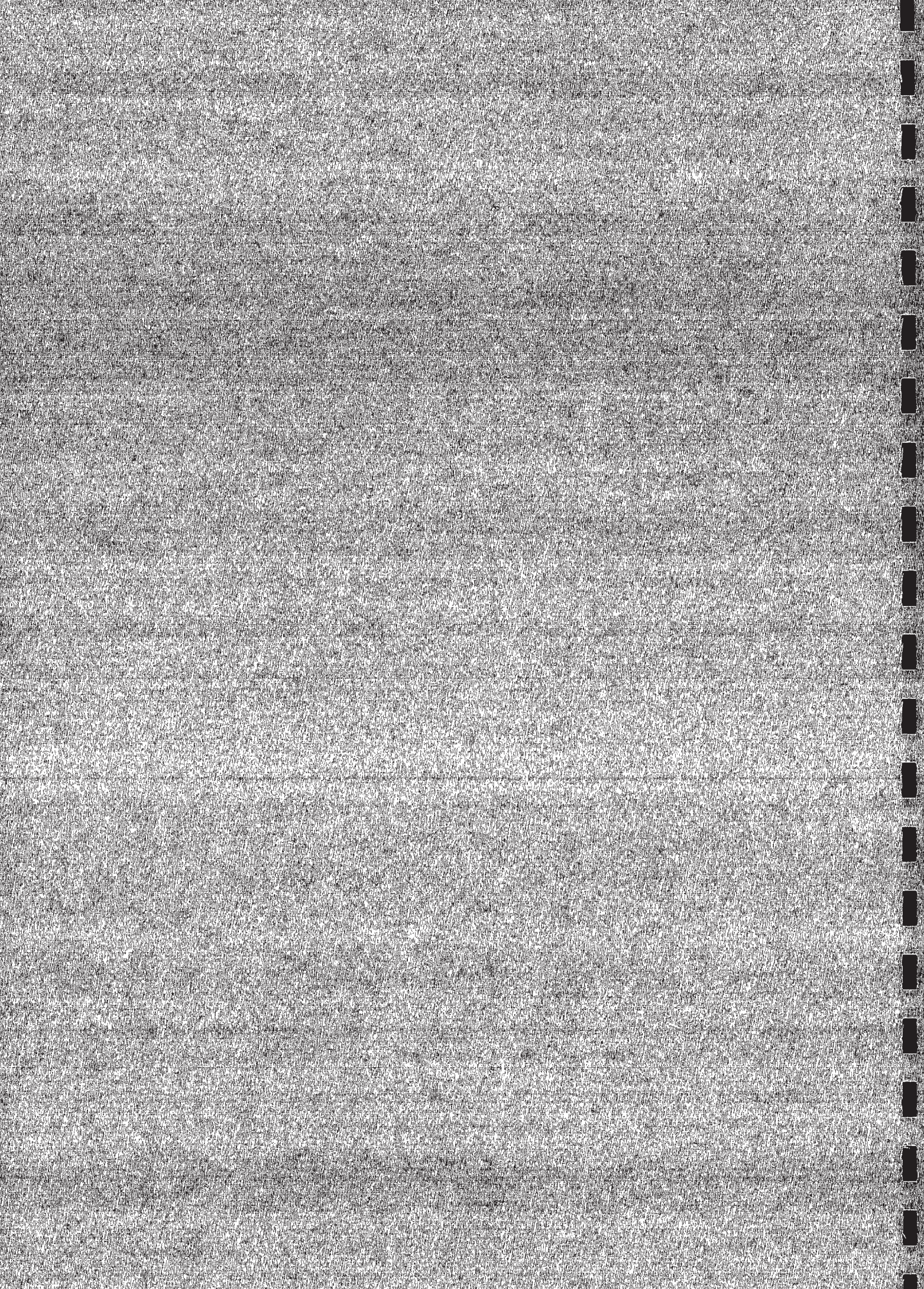
- [38] www.nrc.archief.nl
- [39] www.itf.uk/news/nl/ja97/tunnel.htm
- [40] www.qaphotos.com/tunnel.htm
- [41] www.departmentofenvironmenttransportandtheregions.Channeltunnelsafety.htm

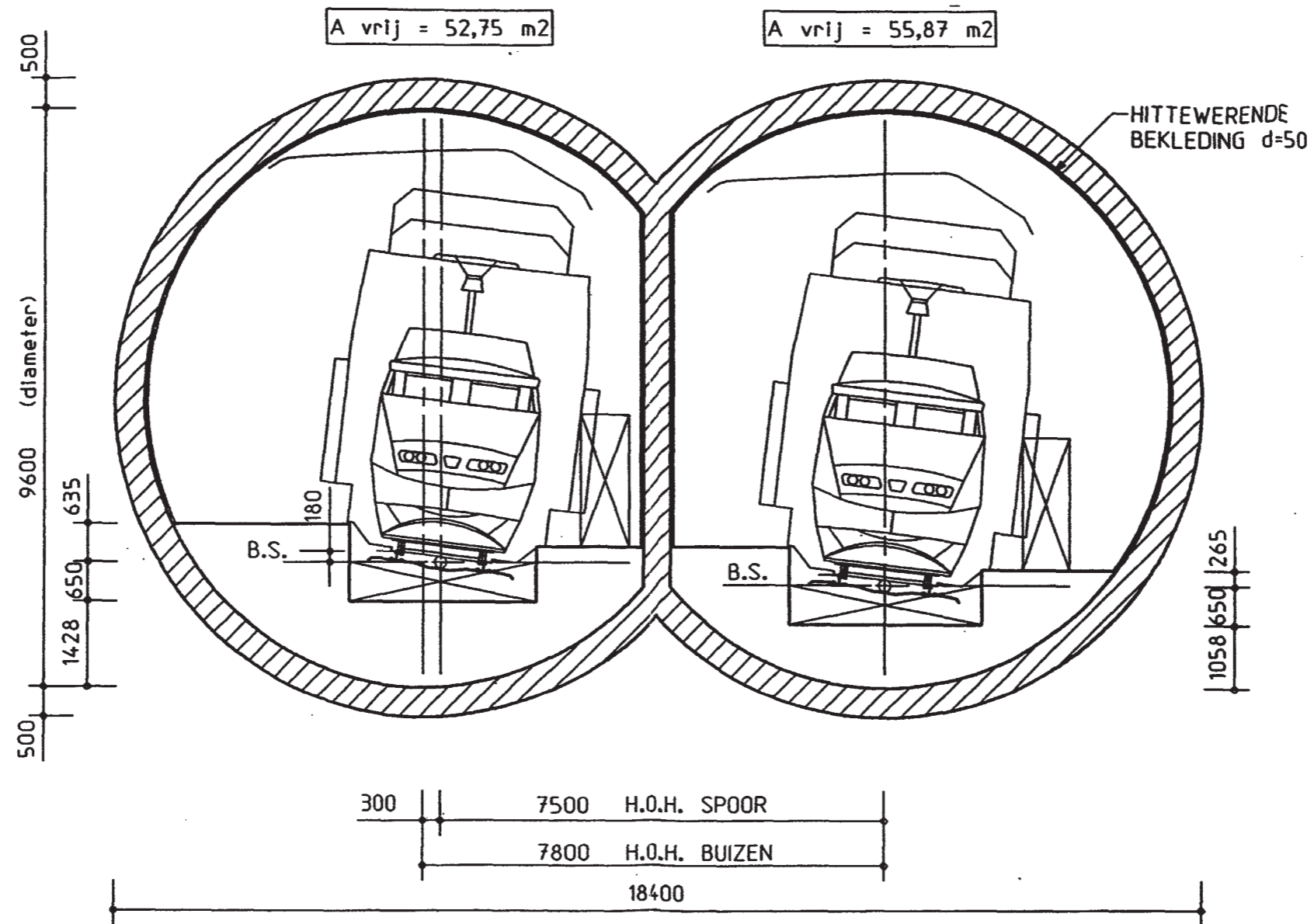
BIJLAGEN:

- Bijlage A : Referentie ontwerp
- Bijlage B : DOT tunnel
- Bijlage C : Dwarsdoorsnede varianten Dubbelsporige boortunnel
- Bijlage D : Vergelijking verschillende boortunnels
- Bijlage E : Beschrijving branden in tunnels in de afgelopen drie jaar
(Beschrijving brand in de Kanaaltunnel, Mont-Blanc tunnel en
Tauerntunnel)
- Bijlage F : Vluchttijden passagiers m.b.t. afstand dwarsverbinding en breedte
looppad
- Bijlage G : Vluchttijden intoxicatie

Bijlage A : Referentie ontwerp

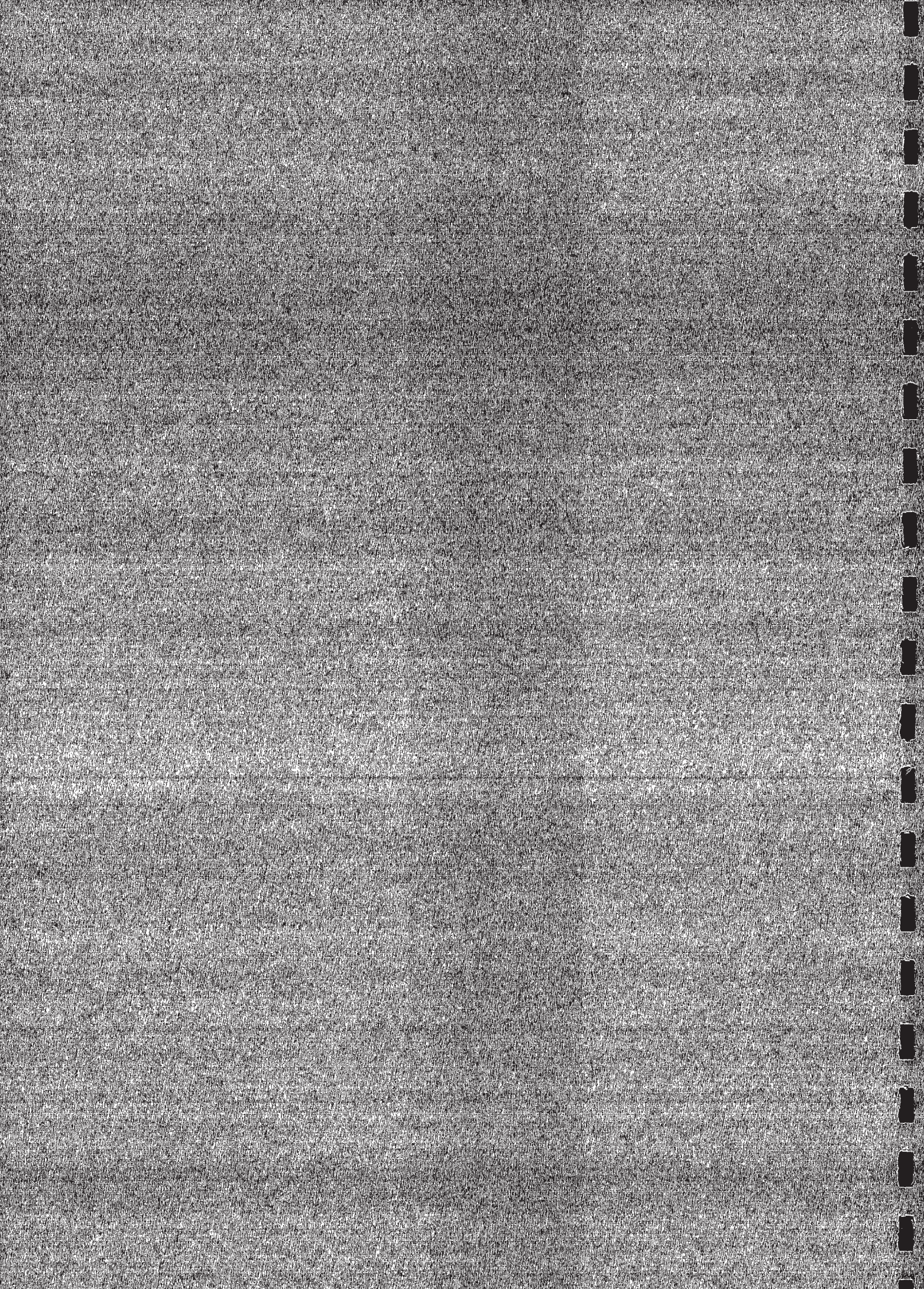


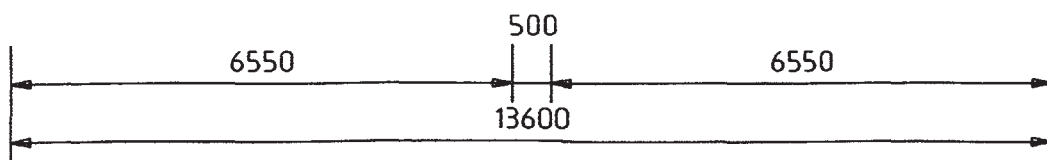
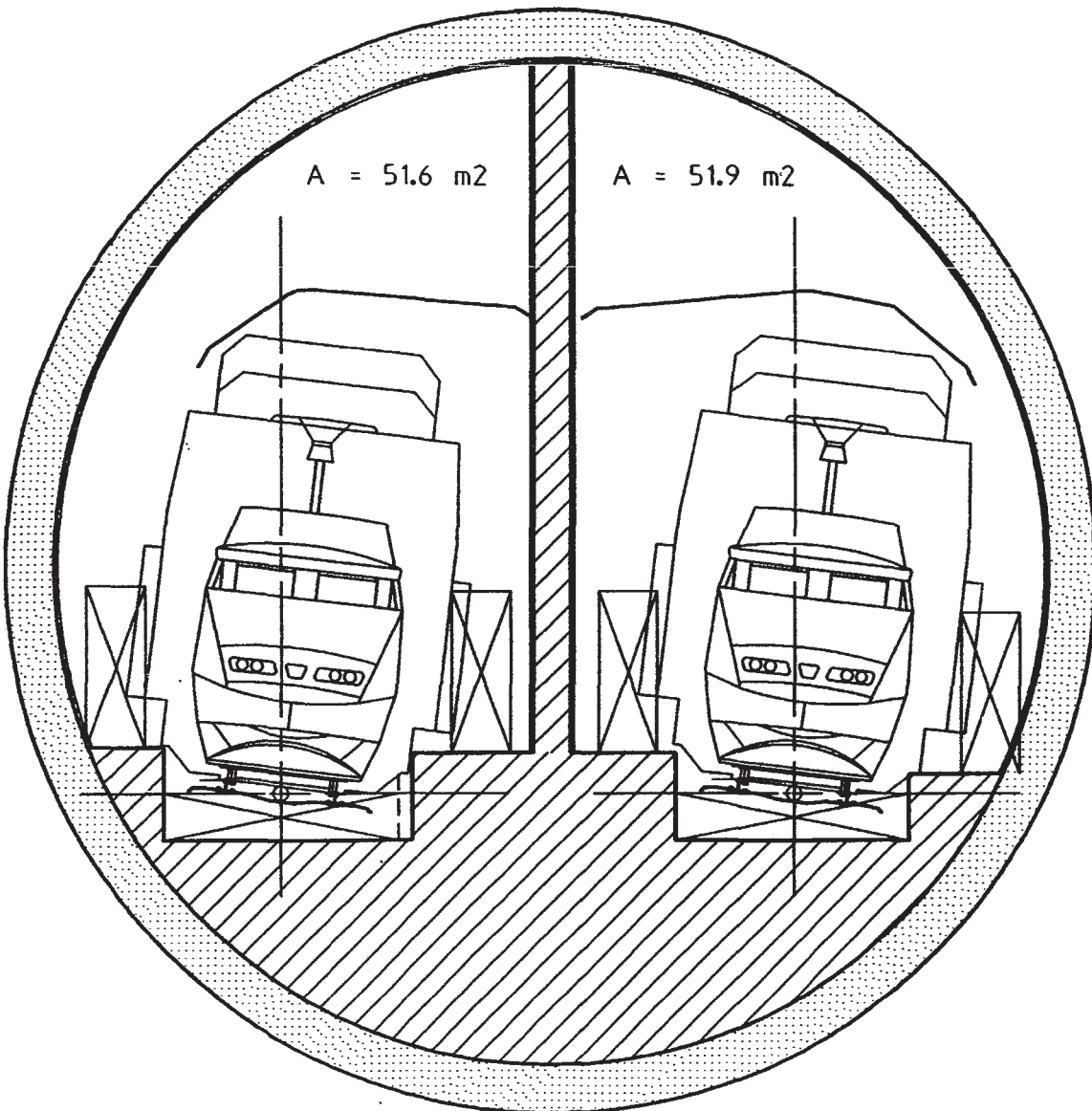
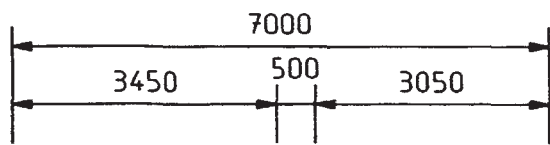




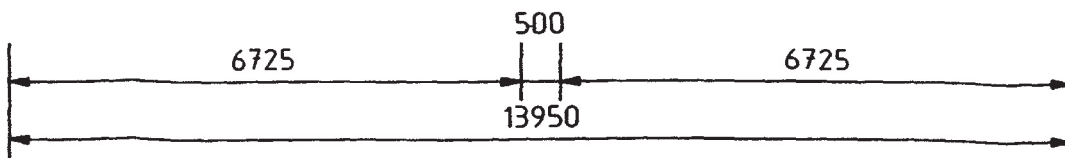
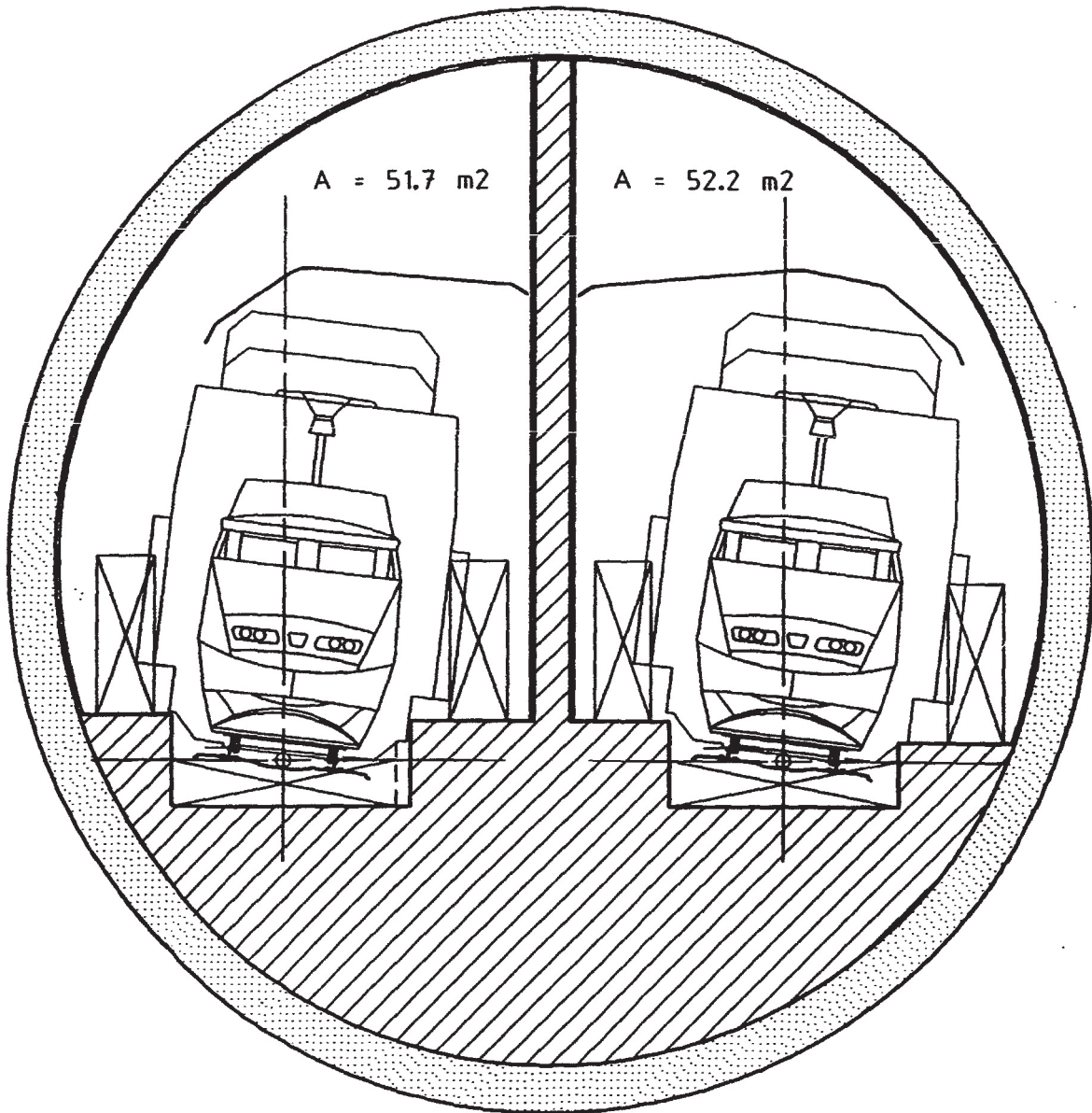
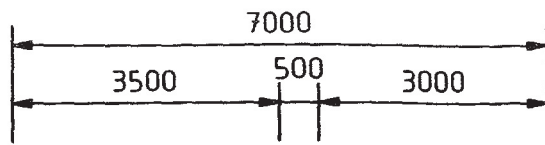
Rijkswaterstaat Bouwdienst RWS		hoofdafdeling Droge Infrastructuur afdeling Tunnelbouw	
BOORTUNNEL GROENE HART			bestek
DWARSDOORSNEDE DOT-TUNNEL			dienst 19 -19
			top.code
			project
getekend	H. KOSTERMAN	dd. OKT. '98	status:
gecontr.		dd.	versie
akkoord		dd.	
referenties:			in bladen, blad nr. schaal: zie tekening
		formaat :	tekening nummer :
		A3	HSL-012

Bijlage C : Dwarsdoorsnede varianten Dubbelsporige boortunnel

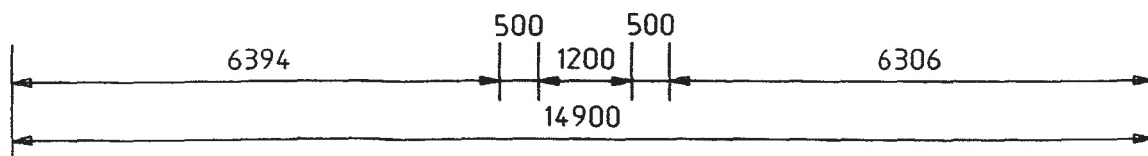
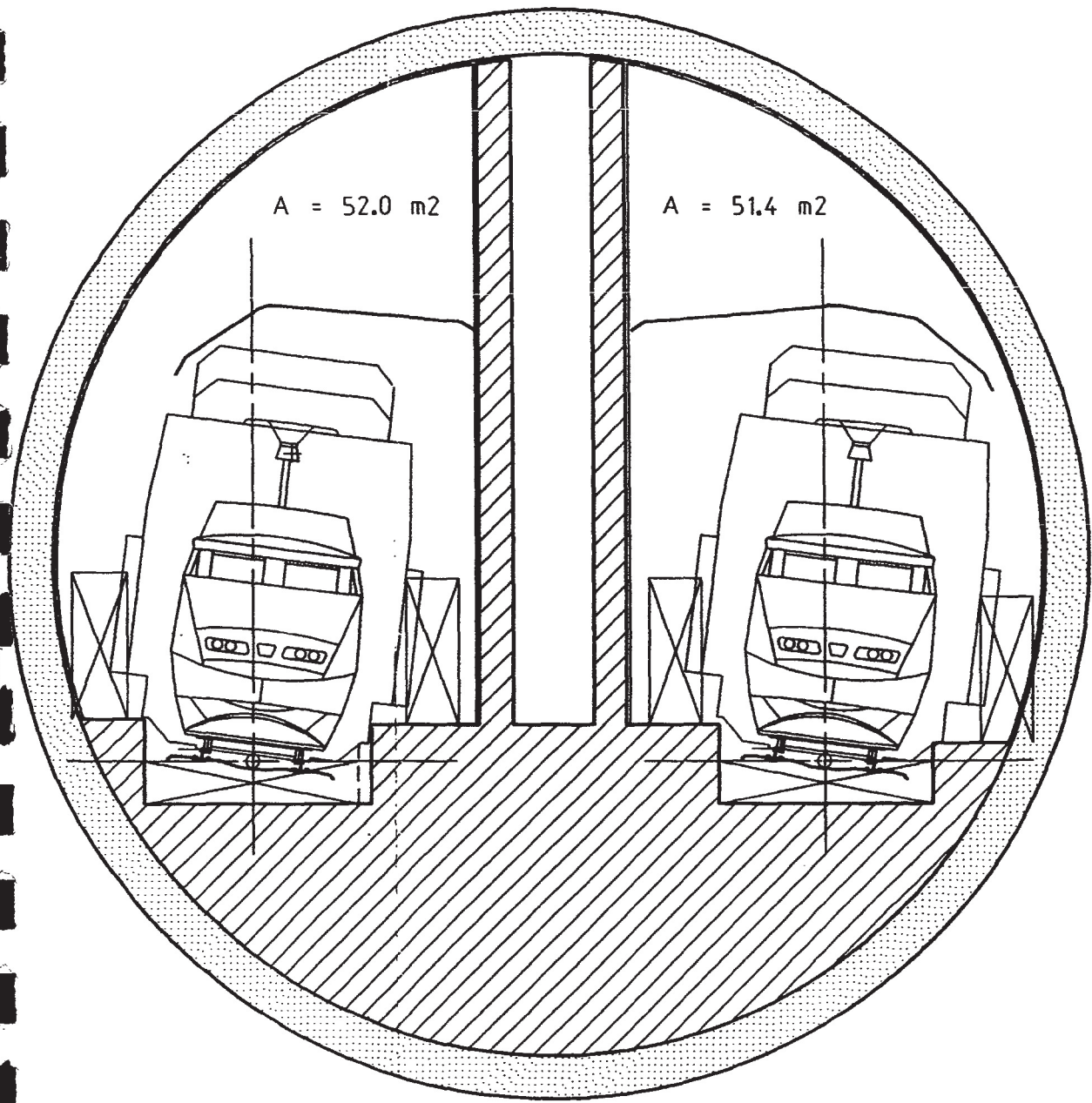
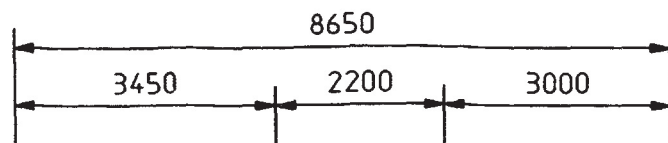




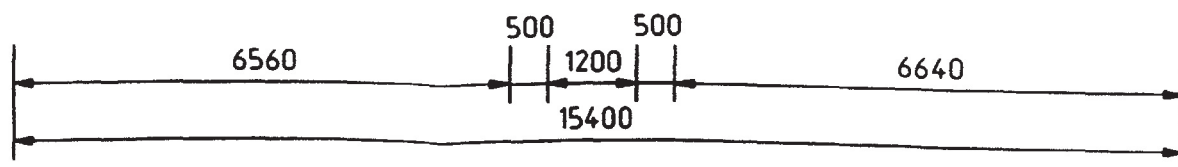
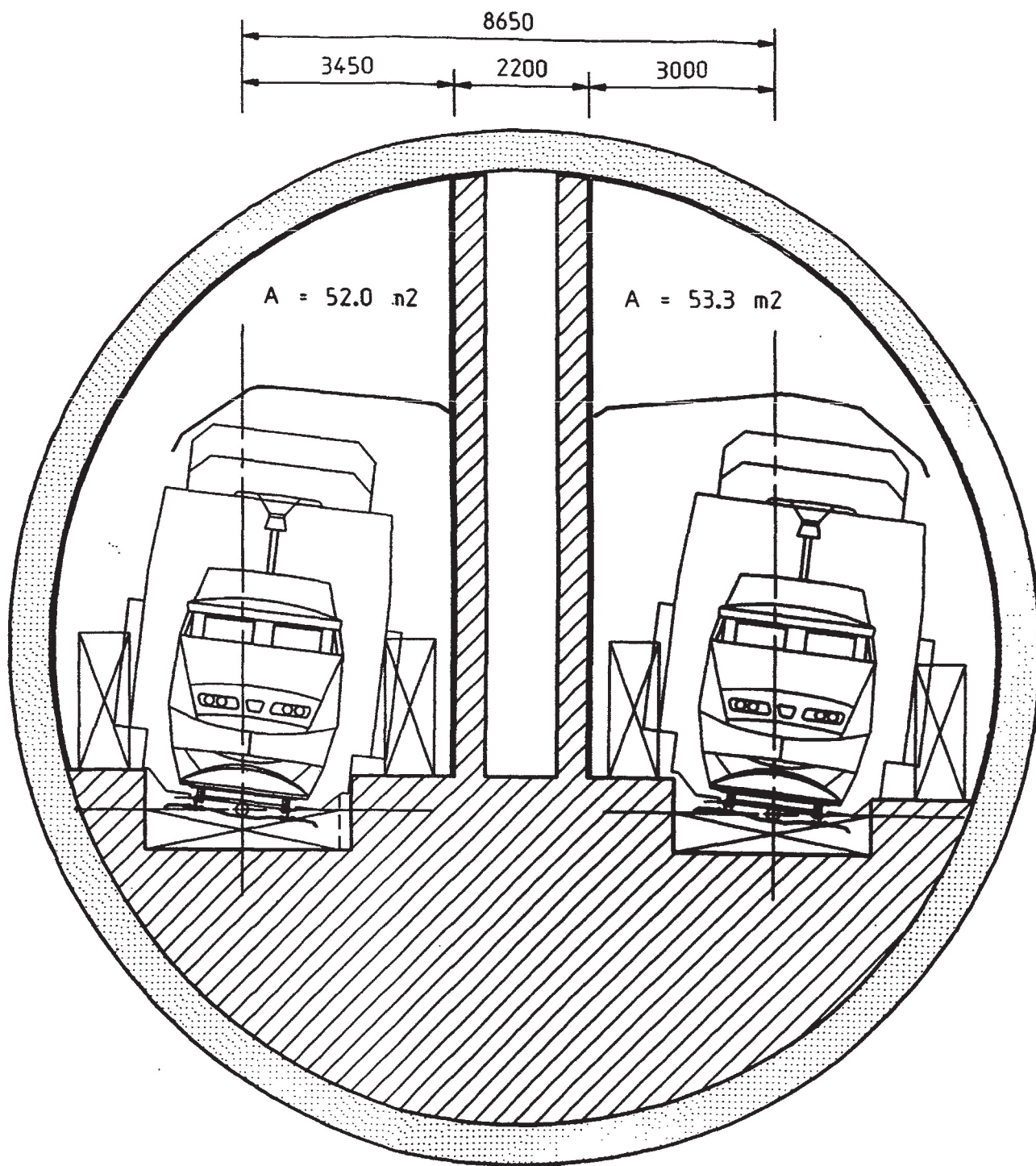
DOORSNEDE MET TUSSENWAND



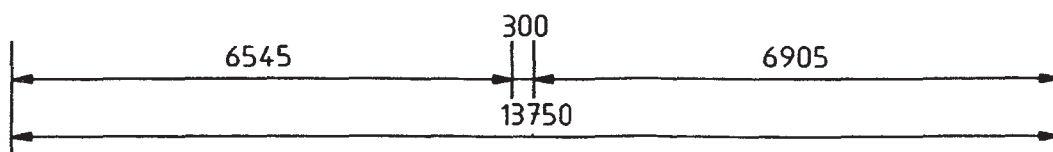
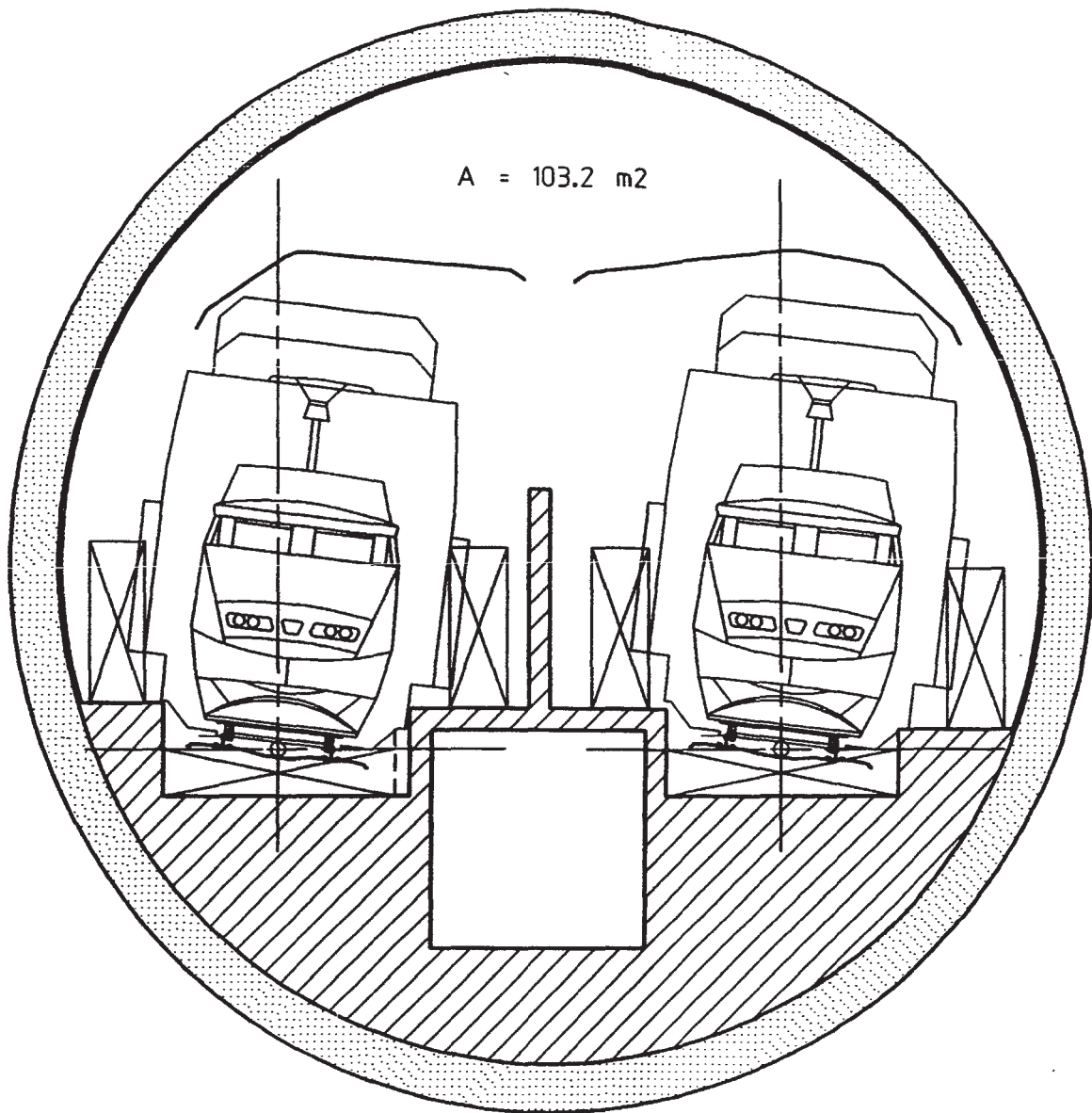
**DOORSNEDE MET TUSSENWAND EN
INSPECTIEPADEN AAN BUITENZIJD**



DOORSNEDE MET VLUCHTGANG

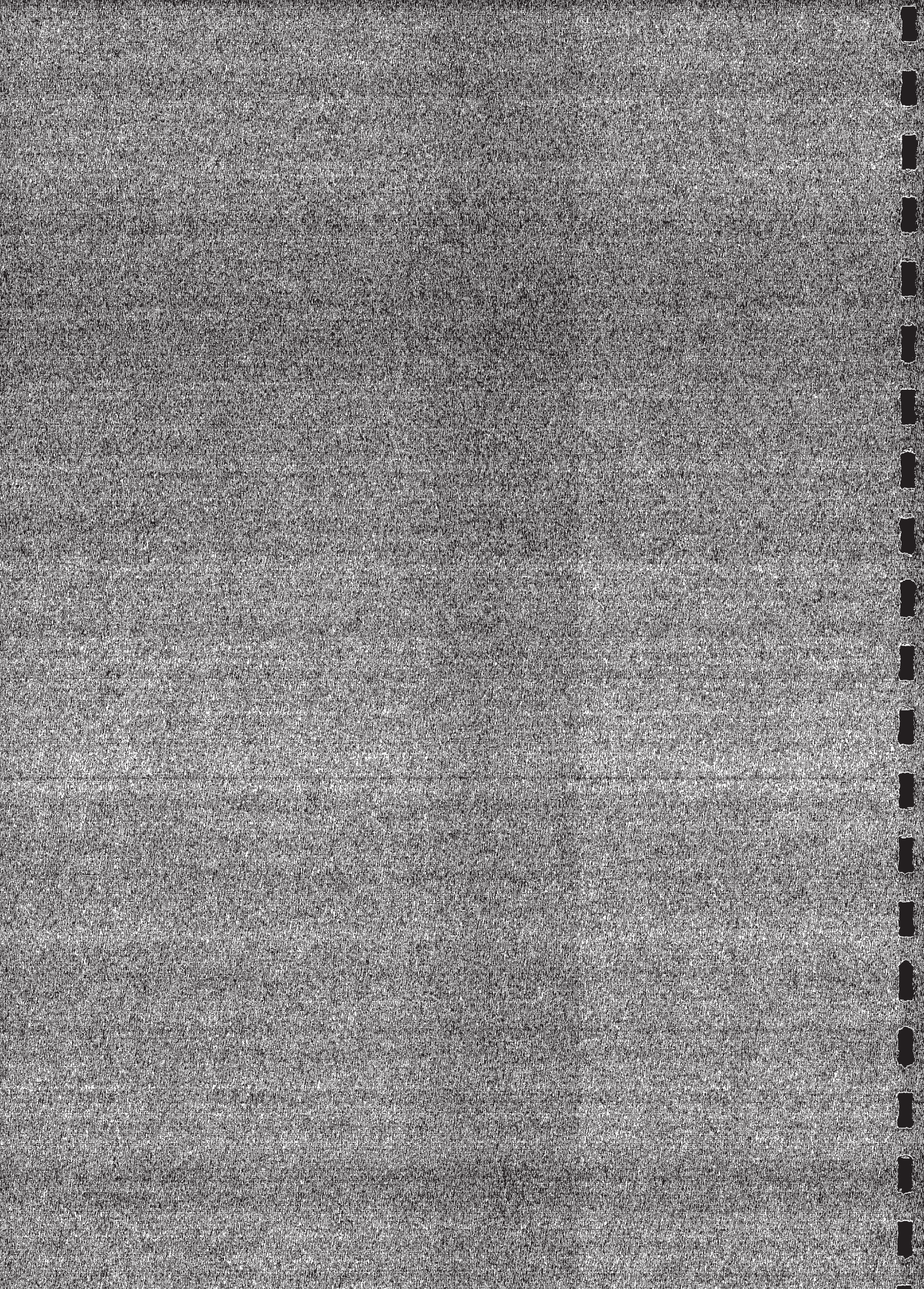


**DOORSNEDE MET VLUCHTGANG EN
INSPECTIEPADEN AAN BUITENZIJDE**



**DOORSNEDE MET VLUCHTTUNNEL EN
INSPECTIEPADEN AAN BUITENZIJD**

Bijlage D : Vergelijking verschillende boortunnels



Vergelijking van bestaande grote diameter tunnels

1.1 Inleiding

Zoals al eerder vermeld is er wereldwijd weinig ervaring met grote diameter geboorde tunnels in slappe grond. Er is slechts één tunnel gebouwd en momenteel wordt er gewerkt aan een tweede tunnel in Duitsland en een derde tunnel in Japan. De eerste tunnel is de Trans Tokyo Bay Highway tunnel in Japan, de tweede tunnel is de Röhre Elbe tunnel in Hamburg in Duitsland en de derde tunnel met een grote diameter is een onderdeel van de 'Kanda river and the seventh totoidal line underground detention pond' in Tokyo. Hieronder wordt een beschrijving gegeven van deze drie tunnels en een vergelijking gemaakt van de toegepaste technieken.

1.2 De 'Röhre Elbtunnel'

In 1975 is de Elbtunnel aangebracht, een afzinktunnel met drie buizen en zes banen voor verkeer. Inmiddels heeft het verkeer zich verdubbeld en kan de tunnel deze verkeersbelasting niet meer aan. Daarom wordt er een extra buis aangebracht. Deze extra buis wordt uitgevoerd als een boortunnel [1,2,3].

De binnendiameter van de tunnel bedraagt 12,25 meter, de buitendiameter van de tunnelboormachine is 14,20 meter, hiermee wordt de Elbe tunnel de grootst geboorde tunnel ter wereld. De lengte van de tunnel is 4,4 km, het geboorde deel is 2,56 km lang. De tunnel bevat twee rijstroken met een breedte van 3,75 meter en een extra strook van 2,0 meter breed. De vluchtstroken zijn aan beide zijden aangebracht met een breedte van 0,5 meter.

De tunnelboormachine gaat onder de rivier de Elbe door van noord naar zuid over een lengte van 950 meter. De minimale bodemdekking is 7,0 meter en de maximale bodemdekking is 13,0 meter. Nadat de Elbe is gepasseerd wordt aan de zuidkant onder bewoning worden door geboord. Hierbij is de afstand tussen de kelders van de huizen en de tunnelboormachine slechts 9,5 meter. Bijzondere maatregelen zoals cementinjectie moeten zorgen voor de standzekerheid van de huizen.

Gedurende het boren wordt tot 50 meter voor het boorfront seismologisch onderzoek uitgevoerd. Hiermee kunnen obstakels gedetecteerd worden gedurende het boorproces. Dit is een systeem dat obstakels detecteert van 1,0 tot 1,5 meter. Het verwerken van deze gegevens duurt ongeveer drie weken waardoor dit systeem nog niet direct bruikbaar is gedurende het boorproces. Het systeem is nog in ontwikkeling.

De segmenten zijn 2,0 meter breed en hebben een lengte van 5,25 meter. De dikte is 0,70 meter. Hierdoor hebben de segmenten een gewicht van 18 ton per stuk. Een ring bestaat uit 8 segmenten en een sluitstuk. De waterdichtheid wordt verkregen door een dubbele band van elastomeer. De segmenten zijn van te voren 1:1 getest om de segmenten op de krachten te testen.

De tunnelboormachine is een hydroschild, dat wil zeggen dat de stabiliteit van het boorfront wordt gegarandeerd door luchtdruk. Er is een stenenbreker aanwezig die stenen tot 1,2 meter kan breken. De machine is 60 meter lang en heeft een totaalgewicht van 2600 ton. Hiervan is 2000 ton het gewicht van de 12 meter lange boorkop. Het snijrad van de tunnelboormachine bestaat uit vijf hoofdarmen en vijf zijarmen, hierop bevestigd zijn 111 snijtanden en 31 ronde snijschijven om de grond te ontgraven.

In de tunnel zijn de volgende veiligheidsmaatregelen getroffen:

In de tunnel worden 26 praatpalen aangebracht met een onderlinge afstand van 120 meter, een automatische brandmelder, continue meting van de kwaliteit van de lucht in de tunnel waarbij langsventilatie kan worden ingeschakeld, meer dan 15 camera's, zodat snel kan worden gereageerd bij storingen in de tunnel.

Tevens zijn er 3 dwarsverbindingen in de tunnel aanwezig met een diameter van 3,5 meter om de 1100 meter. Deze dwarsverbindingen verbinden de nieuwe boortunnel met de oude afzinktunnel.

De dwarsverbindingen worden aangebracht nadat de tunnel in zijn geheel voltooid is. Op de plaatsen waar dwarsverbindingen aangebracht dienen te worden, zijn in plaats van betonnen, stalen segmenten aangebracht. Tevens is er een HDI, hoge druk injectie, lichaam op deze plaatsen aangebracht. Door middel van perstechniek, wordt de dwarsverbinding van de ene naar de andere tunnel geperst. Deze dwarsverbindingen hebben een lengte variërend van 12,6 meter en 70 meter.

1.3 De 'Trans-Tokyo Bay Highway tunnel'

De trans tokyo bay highway is een snelwegverbinding, aangebracht in Tokyo Bay van oost naar west. Het project bevat een brug van ca. 5 km en een geboorde tunnel van 9,1 km. Deze afstand is in stukken van ca. 2,5 km geboord. De tunnel bestaat uit twee identieke buizen met een binnendiameter van 12,6 m en een buitendiameter van 13,9 meter [4,5,6,7].

In de tunnel zijn twee rijstroken aangebracht van 3,5 meter breed en een rijstrook van 2,5 meter met een vluchtstrook van 1,0 meter aan een zijde.

De dekking boven de tunnel bij de start en ontvangst schacht varieert van 6,2 tot 9,4 meter. Op deze plaatsen zijn op het maaiveld betonnen blokken geplaatst. Bevriezing van de grond is toegepast als dichtblok bij de start en ontvangst. De dekking op de rest van de tunnel is ongeveer 16 meter. Er is aan grondverbetering gedaan over het gehele tunneltrace. De methode SCP, sand compaction piles, is toegepast.

De tunnel is niet in een keer geboord. Er zijn bij dit project acht tunnelboormachines gebruikt die ieder ongeveer 2,5 km hebben geboord. Voor deze methode met acht machines is gekozen omdat er nog geen voorbeelden zijn van langere tunnels die zijn geboord en 2,5 km wordt gezien als de technische levensduur van de snijtanden. Er zijn twee machines, een voor elke buis ingezet aan het begin en het eind van de tunnel. In het midden is een eiland gebouwd waarin ook 4 machines zijn gestart.

De tunnelboormachines ontmoeten elkaar in het midden van de tunnel. Het snijrad van beide machines wordt ingetrokken en de machines naderen elkaar tot 30 cm afstand. De omliggende grond wordt bevroren. Hierna worden de segmenten voor de verbinding aangebracht.

De segmenten die zijn toegepast hebben een dikte van 65 cm en een breedte van 1,5 m. Een ring bestaat uit 11 segmenten inclusief sluitstuk. Een segment weegt 9,3 ton. Het gewicht is onder de 10 ton gehouden om het vervoer van de segmenten en de plaatsing van de segmenten eenvoudig te houden. De afdichting tussen de segmenten is gegarandeerd door rubber voegen die water absorberen indien het in aanraking komt met water. Indien de afdichting in contact komt met water zet het uit en zorgt voor een waterdichte afsluiting.

Er zijn twee soorten lining aangebracht, de buitenlining die uit bovengenoemde segmenten bestaat en een binnenlining met een dikte van 35 cm. Deze binnenlining beschermt de tunnel bij brand of explosies. Tevens geeft deze lining extra gewicht tegen opdrijven, biedt de mogelijkheid faciliteiten te bergen, de binnenlining bevordert de sterkte van de tunnel en biedt extra bescherming tegen aardbevingen. Tussen de binnen en de buitenlining wordt een waterdicht membraam aangebracht.

Dit membraam bestaat uit een 0,8 mm dik 'EVA' en een 3 mm dikke stof. Het water dat door de eerste lining heen komt wordt door dit membraam afgevoerd naar een verticale afvoer.

De boormachine is een slurrschild. Bij dit type schild wordt de stabiliteit van het boorfront verzorgd door een steunvloeistof, bentoniet. Uit voorgaande ervaring in Japan is naar voren gekomen dat een slurrschild voldoet voor verschillende lagen grond, zoals voor dit project het geval is. Groutinjectie vindt plaats door de segmenten heen vlak nadat de boormachine is gepasseerd.

De veiligheid in de tunnel wordt gewaarborgd door dwarsventilatie, sproeisysteem, brandmelders, koolstofdioxide meter, nood telefoons en brandblussers. Er zijn om de 750 meter vluchtdeuren aangebracht. Deze vluchtdeuren bieden toegang aan de onder het wegdek gelegen vluchttunnel. Bij deze tunnel is gekozen voor een vluchtgang onder het wegdek in plaats van dwarsverbindingen, de reden hiervoor is dat op 12 locaties dwarsverbindingen moesten worden aangebracht en dit werd te gevaarlijk geacht.

1.4 De 'Kanda river and the seventh toroidal line underground detention pond'

De toenemende urbanisatie en asfaltering in Tokyo is er de oorzaak van dat steeds vaker overstromingen voorkomen [35,36,37]. Momenteel wordt aan een oplossing gewerkt waarbij tot 50 mm regen kan worden opgevangen. Dit blijkt niet voldoende en er komt een oplossing om tot 75 mm regen te verwerken. Hiervoor worden ondergrondse afwateringssystemen aangelegd. Er zijn twee ondergrondse rivieren gepland waarvan loop 7 een uitwendige diameter heeft van 13,7 meter en een inwendige diameter van 12,5 meter. De lengte van deze rivier is 4,5 km. De ondergrondse rivier wordt geboord met behulp van een vloeistofschild. De dikte van de lining is 0,6 meter en de dekking van de tunnel is van 34 tot 43 meter.

Een ronde startschacht wordt aangebracht tot op een diepte van 60 meter. Dit is tevens de waterinname van de Kanda rivier. De ondergrondse rivier komt uit in de baai van Tokyo waar het water geloosd kan worden. De startschacht wordt uitgevoerd met diepwanden met een dikte van 1,2 meter. Voor de droogzetting van de schacht wordt bronbemaling toegepast. De dwarsverbinding tussen valschacht en tunnel wordt gerealiseerd met vriestechnieken. De liningelementen op deze plaatsen zijn van staal. Chemische injectie wordt achter de hand gehouden indien het vriezen van de grond niet optimaal functioneert.

Het Kanda rivieren project is opgestart om het overstromen van delen van Tokyo tegen te gaan. Door de dichte bebouwing in Tokyo kunnen de rivieren niet verder worden uitgebreid. De oplossing is gezocht in de aanleg van ondergrondse rivieren, die in de toekomst een regenval tot 75 mm kunnen verwerken. De Kanda rivier loop nummer 7 vormt hier een onderdeel van.

De buitendiameter van de tunnel is 13,70 meter en de binnendiameter is 12,50 meter. De lengte van de tunnel bedraagt 1991,4 meter, bijna 2 km. Gedurende het boren is aan grondverbetering gedaan. Ten eerste is bevrozing toegepast en daarna chemische injectie.

Er worden twee lagen lining toegepast. Een buitenlining en een binnenlining. De buitenlining bestaat uit drie soorten segmenten. Rechte betonnen segmenten met een dikte van 60 cm en een breedte van 1,2 meter. Per ring worden 11 segmenten geplaatst. Deze segmenten wegen per stuk 8 ton.

Ductiele segmenten met een dikte van 35 cm, een breedte van 1,0 meter en per ring worden 15 segmenten geplaatst. Tevens worden er in de tunnel ook nog T-vormige segmenten geplaatst met een dikte van 35 cm en een breedte van 1,0 meter, hiervan worden ook 15 segmenten in een ring geplaatst. Deze laatste twee segmenten worden toegepast ter plaatse van een aansluiting met een andere ondergrondse rivier.

De tweede lining wordt later in de tunnel aangebracht om de wrijvingsweerstand van het stromende water te verminderen en de tunnel te beschermen tegen krachten ten gevolge van waterslag.

Het schildtype is een vloeistofschild met een buitendiameter van 13,94 meter. Vanwege de grote diepte heeft dit schild een grotere waterdichtheid. Het schild kan gedraaid worden in beide richtingen.

De segmenten worden in de machine volledig automatisch aangevoerd. Ook het plaatsen door middel van de erector en het sturen gaan geheel automatisch. Het hele proces wordt van bovenaf via een controle kamer in de gate gehouden.

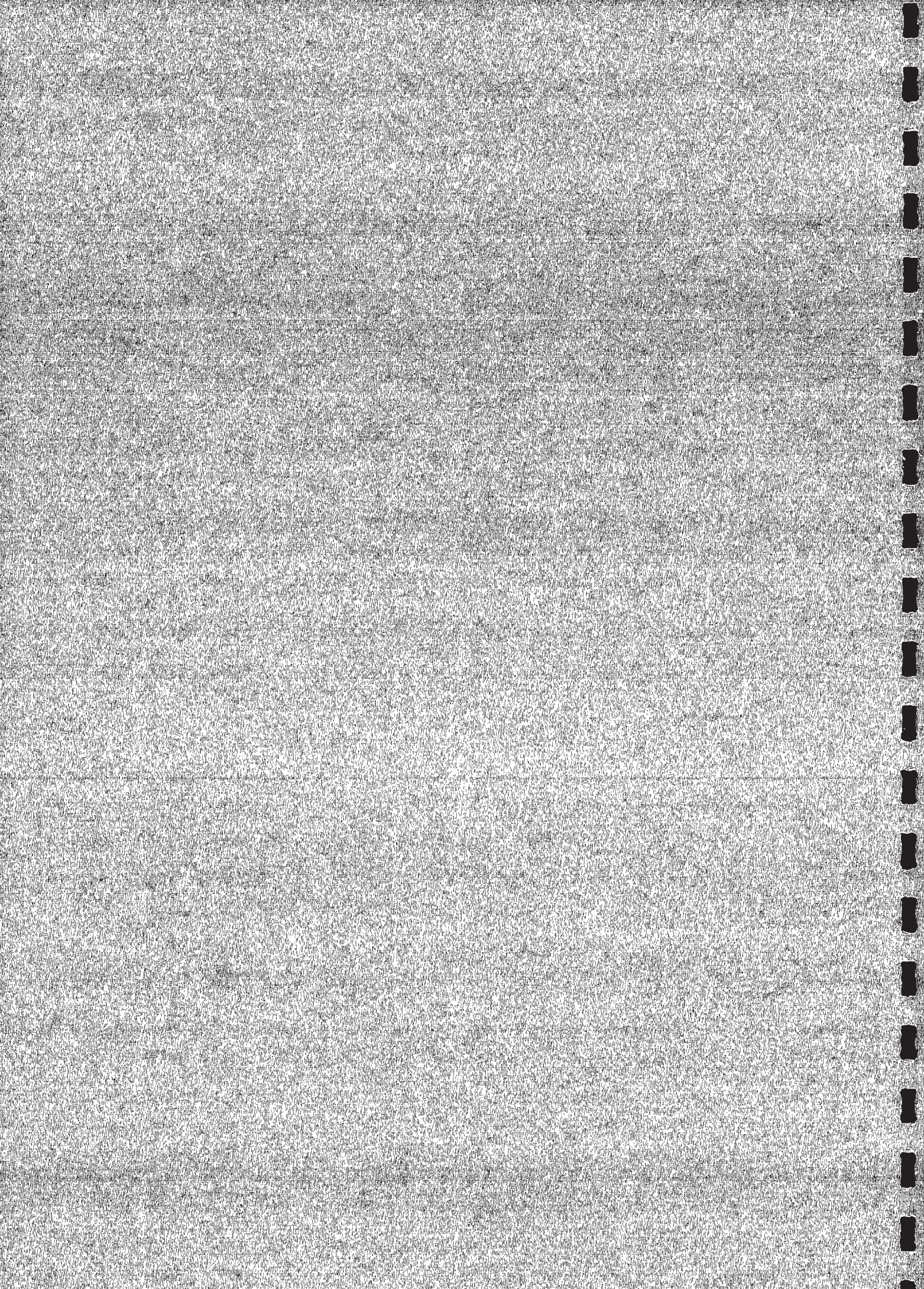
Het dichtblok is gemaakt door middel van bevriezen in combinatie met chemische injectie.

Om een rivier in de Kanda rivier uit te laten komen worden op deze plekken de betonnen segmenten vervangen door stalen segmenten. Hier kan later een verbinding tussen beide ondergrondse rivieren gemaakt worden.

1.5 Overzicht

	Trans Tokyo Bay Tunnel	Rohre Elbtunnel	Kanda river
Uitwendige diameter	13,9	14,20	13,70
Inwendige diameter	12,6	12,35	12,50
Lengte	2,4 en 2,6 km	2,56 km.	4,50 km.
Boormachine	Vloeistof	Hydroschild	Vloeistof
Dikte segmenten	0,65	0,70	0,60
Breedte segmenten	1,5	2	1,20
Aantal segmenten in ring	11	8	11
Minimale dekking	6,2	7	34
Maximale dekking	16	13	43
Afdichting tussen segmenten	Rubber	Dubbele neopreen	Neopreen
Grondverbetering	Ja	Ja, achteraf	Ja
Dwarsverbindingen	Nee	Ja, 3 stuks	Ja
Vluchtweg	Om de 700 meter	Om de 1100 meter	-
Vluchtschacht	Om de 2,5 km.	Aan begin en eind	Aan begin
Druk in boorfront	6 bar	5,5 bar	-

**Bijlage E : Beschrijving branden in tunnels in de afgelopen drie jaar
(Beschrijving brand in de Kanaaltunnel, Mont-Blanc tunnel en
Tauertunnel)**



Branden de afgelopen drie jaar

(Brand in de kanaaltunnel, Mont-Blanc tunnel en Tauerntunnel)

Inleiding

De afgelopen drie jaar hebben zich drie branden voorgedaan in tunnels. Hierdoor is de veiligheid van tunnels ter discussie gesteld en worden de maatregelen in tunnels aangescherpt. Hieronder volgt een beschrijving van de tunnels en van de branden die hebben plaatsgevonden. Door een beeld te krijgen van de indeling van de tunnels en de oorzaak van de brand en het verloop kan lering getrokken worden voor de toekomst. Tevens kan in het kader van dit afstudeerwerk naar relaties worden gezocht voor de situatie voor de tunnel onder het Groene Hart.

De Kanaaltunnel brand

Op 18 november 1996 zaten 34 mensen gevangen in een treinwagon midden in de rook en in het donker terwijl daarbuiten om hen heen een brand woedde. Deze situatie duurde 30 minuten. Terwijl 34 mensen voornamelijk vrachtwagenbestuurders angstige momenten beleefden duurde de brand maar voort.

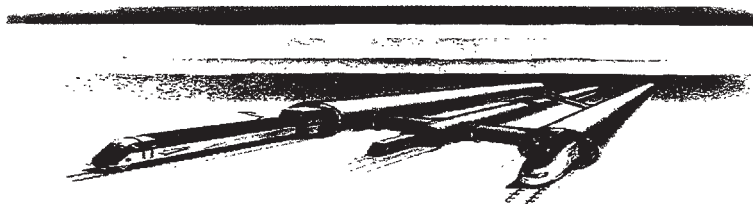
De machinist samen met het controle-personeel stuitte van het ene probleem op het andere.

Doordat de stroom uitgevallen was kon de machinist het brandende rijtuig niet loskoppelen, de

communicatielijnen vielen uit. De ventilatie, die de rook zou doen verdwijnen werd veel te laat ingeschakeld.

Niemand wist waar de trein precies was gestopt. De brandweer werd naar de verkeerde vluchtdoor gestuurd.

Toxische gassen van de banden van de vrachtwagens en de diesel werden ingeademd door de passagiers aan boord.



Overzicht van de indeling van de kanaaltunnel, twee buizen met daartussenin een service tunnel

De brand heeft 6 uur geduurd. Er waren 450 brandweermannen nodig om het vuur te doven zowel van Engelse als van Franse zijde.

De brand in de tunnel is ontstaan in een vrachtwagen. De vrachtwagens, die vervoerd worden door de eurotunnel worden in een open wagon geplaatst. Doordat de wagon open was, kon het vuur zich makkelijk verspreiden. De machinist die opdracht heeft in geval van brand de trein te laten doorrijden, kreeg een alarmsignaal binnen dat er een staander van de wagon uit stond. Hierdoor werd de trein vertraagd. Doordat deze staander uit stond en over de grond de trein aan het afremmen, was moest de machinist de trein wel stoppen. Vervolgens heeft hij geprobeerd het brandende deel los te koppelen en vervolgens weer door te rijden. Dit bleek onmogelijk doordat de stroom was uitgevallen.

Door de dikke rook kon de machinist niet zien waar hij zich bevond en zodoende niet de lokatie doorgeven waar de trein stond en dus waar de brandweer heen moest.

In de control-room ging ook van alles mis. Na de melding brak paniek uit. De lokatie van de trein was onbekend en de communicatie viel ook nog eens weg. De ventilatie werd aangezet, de verkeerde kant op blazend waardoor de 34 passagiers nog meer in de rook kwamen te zitten.

De brandweer heeft tot twee keer toe voor een verkeerde deur gestaan waardoor de hulpverlening laat aanwezig was.

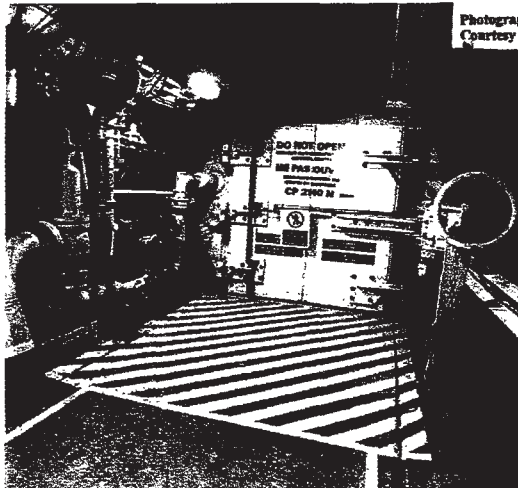


Foto van een veiligheidsdeur in de kanaaltunnel gezien vanaf de service tunnel

Uiteindelijk toen de brandweer de juiste deur had bereikt, kon iedereen de service tunnel bereiken. Doordat de service tunnel onder luchtdruk was gezet kwam er een verse bel lucht de tunnel in zetten zodat de machinist en de passagiers de vluchtdeur konden zien. Het bleek dat de passagiers zich al die tijd naast de vluchtdeur bevonden, maar deze niet hadden kunnen zien vanwege de rook.

Bij het ongeval is iedereen opgenomen geweest in het ziekenhuis met ademhalingsproblemen. Hier werd geen blijvend letsel aan overgehouden.



De uitgebrande wagon na de brand

Mont Blanc tunnel brand

Bij het ongeluk in de Mont Blanc tunnel vielen 41 doden.

De tunnel maakt gebruik van dwarsventilatie in geval van een brand. Dit is een ventilatie systeem dat de uitlaatgassen en de eventuele rook afvoert door een apart rookkanaal in het tunneldak. Daar bevindt zich ook het aanvoer kanaal met verse lucht, dat de koele lucht zo laag mogelijk de tunnel in blaast. Hierdoor blijft de rook bovenin de tunnel hangen.

Het probleem van dwarsventilatie is dat de capaciteit van het rookkanaal bijna nooit voldoende is om de rook werkelijk weg te houden bij de plaats van het ongeluk.

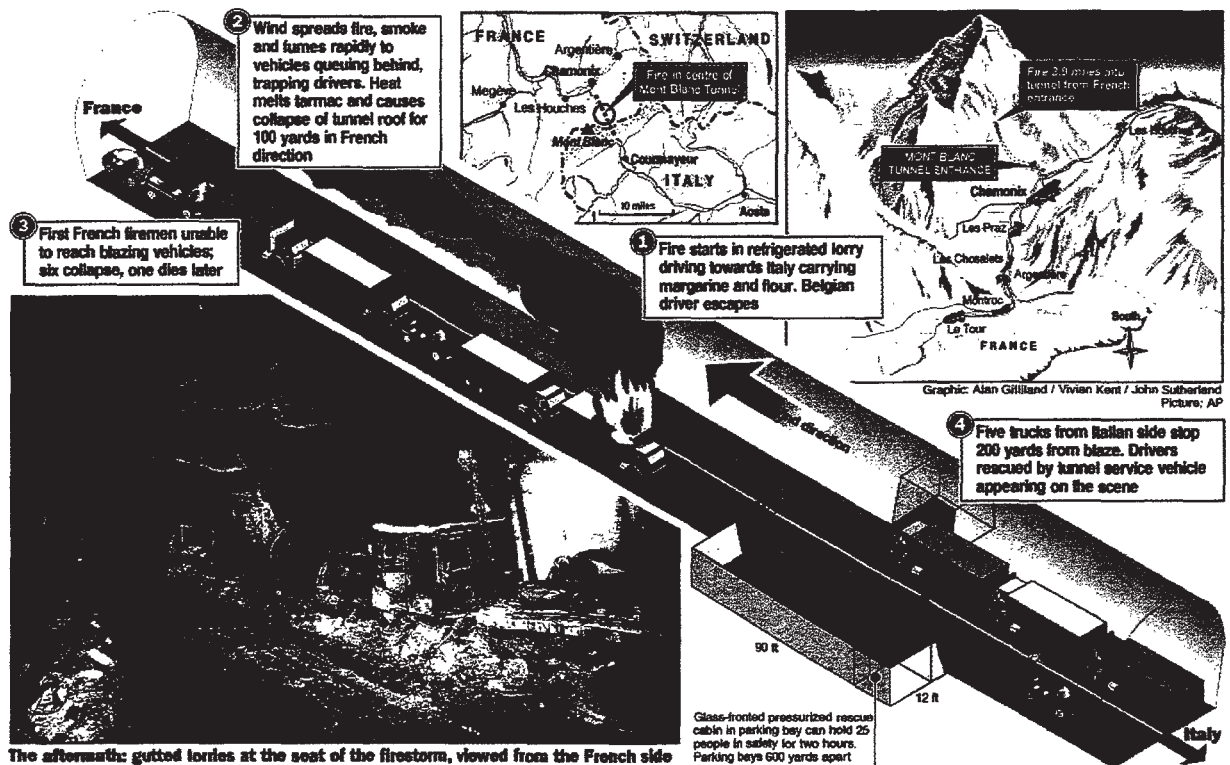
Het afvoerkanaal is meestal te nauw.

Daarom worden op regelmatige afstanden veilige kamers aangebracht met zware brandwerende deuren die in de rotsen uitgehakt zijn en goed worden doorlucht.

Bij de Mont-Blanc tunnel werd door een bedieningsfout de afgezogen rook in deze kamers geblazen.

Verbeteringen door:

- Gaten in de tunnel aan te brengen waardoor de eventueel brandbare vloeistoffen kunnen worden afgevoerd.
- De brandweer komt bijna altijd te laat, daarom is het verstandig om in de tunnel op veel plaatsen aansluitpunten te monteren voor de brandslangen.
- Goede intercom waardoor geschoold personeel de automobilisten instructies geeft dat zij hun auto moeten verlaten. Voor automobilisten is het onduidelijk wat er aan de hand is in de tunnel en de beslissing om de auto te verlaten en de tunnel lopend te verlaten is moeilijk.



Situatie in de Mont Blanc tunnel na de brand en een situatieschets gedurende de brand

De Tauerntunnelbrand

Bij de brand in de Tauerntunnel viel 1 dode en 49 gewonden. De Tauerntunnel is 6,4 km lang en heeft slechts een tunnelbuis waar het verkeer doorheen gaat en geen vluchttunnel. Een vrachtwagen gevuld met verfproducten klapte op een stilstaande file in de tunnel. Deze file was ontstaan wegens bouwwerkzaamheden op ongeveer een kilometer van de ingang van de tunnel.

Het licht was uitgevallen waardoor veel automobilisten en vrachtwagenschauffeurs op de tast een uitweg zochten. De tunnel was te heet om te betreden voor hulpverleners en er was instortingsgevaar in de tunnel.

De hitte van de brand liep op tot boven de 1000 graden celcius.

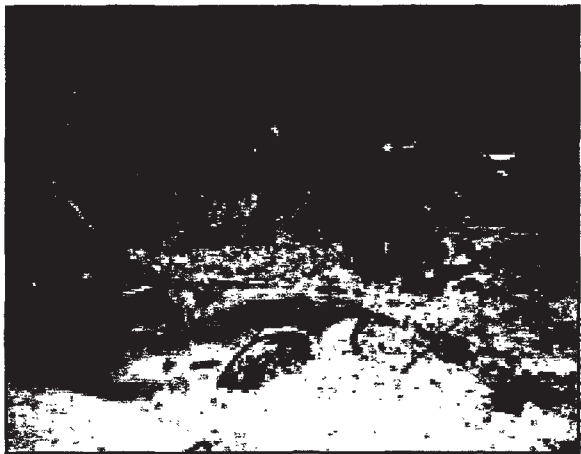
De gewonden werden aan beide zijden van de tunnel opgevangen door hulpverleners.

Bij het ongeluk in de Tauerntunnel is het een wonder dat er maar een dode is gevallen. De paniek in de tunnel was enorm en toch wist iedereen op eigen kracht de uitgang van de tunnel te bereiken.

Na de brand bleken 12 uitgebrande vrachtwagens te staan en 22 verwoeste auto's, bovendien waren de wagens bedolven onder een laag beton afkomstig van het ingestorte dak van de tunnel.



Situatie in de Tauerntunnel nadat de brand was geblust.



Situatie in de Tauerntunnel na de brand, hierin is duidelijk te zien dat het dak van de tunnel naar beneden gekomen is en de auto's heeft bedolven.

Situatie HSL

Voor de HSL situatie kan van bovenstaande branden ook geleerd worden.

De brand in de Mont Blanc tunnel en in de Tauerntunnel zijn beide branden, die ontstaan zijn in een een tunnel voor autoverkeer. Deze branden hebben dus niets te maken met de situatie van de tunnel onder het Groene Hart.

Toch is te zien dat, doordat er geen vluchtunnel is aangebracht, veel slachtoffers zijn gevallen.

Bovendien was vooral bedieningsfouten en foute communicatie oorzaak van de vele slachtoffers. Dit zijn zaken die in de HSL situatie ook spelen en waar aandacht aan besteed dient te worden.

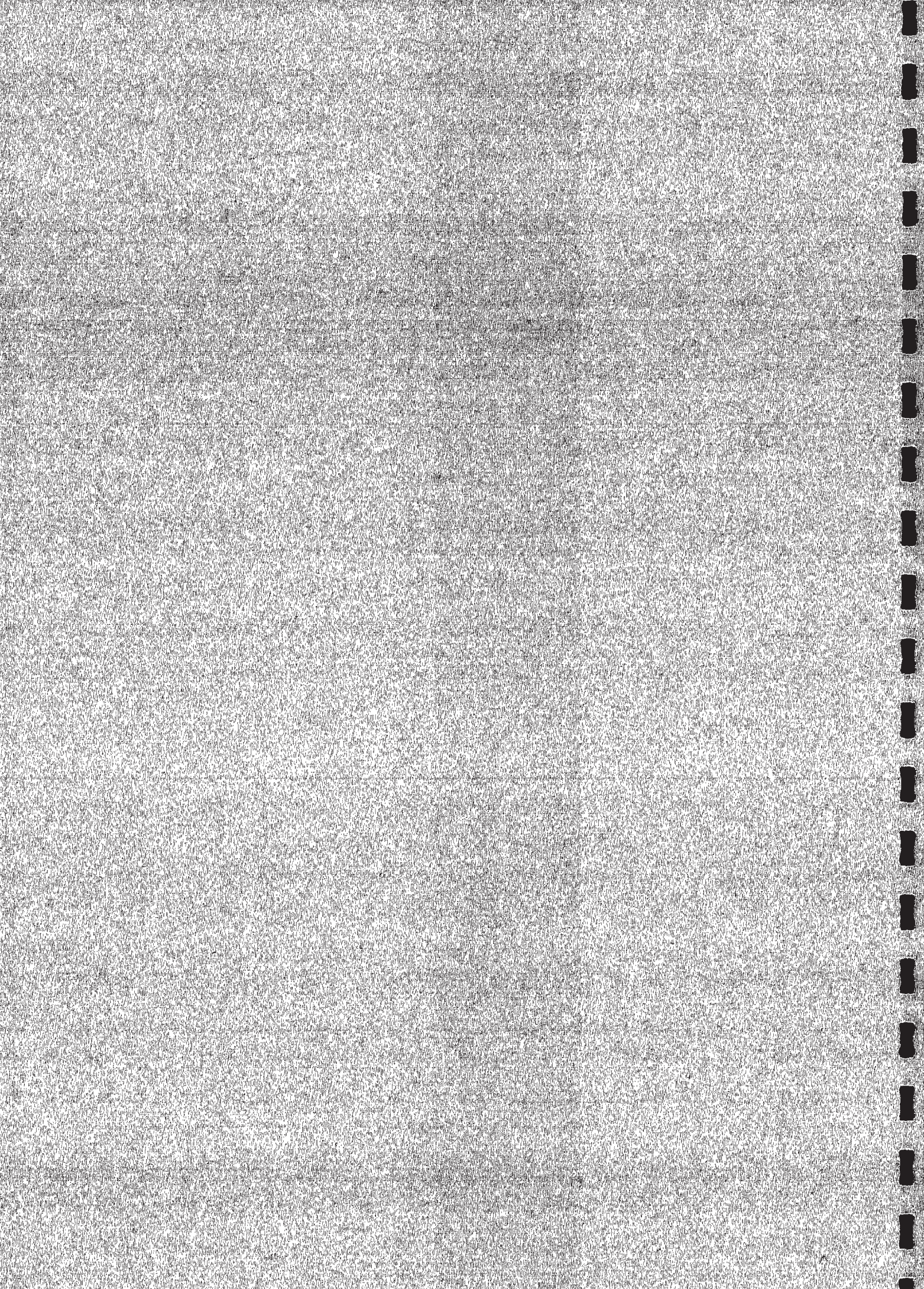
De brand in de Kanaaltunnel is ook op een vrachtwagen ontstaan. Hierbij is te zien, dat, indien een dichte wagon was toegepast in plaats van een open wagon, de brand nooit zo groot had kunnen worden.

Verder is wederom bij deze brand veel fout gegaan door menselijke bedieningsfouten en miscommunicatie. Er was op een gegeven moment helemaal geen communicatie meer vanwege de brand. Dit kan voorkomen worden door de communicatie niet van de stroom te laten afhangen. Goede instructies voor het personeel is dus heel belangrijk.

Dit is ook toepasbaar voor de HSL situatie.

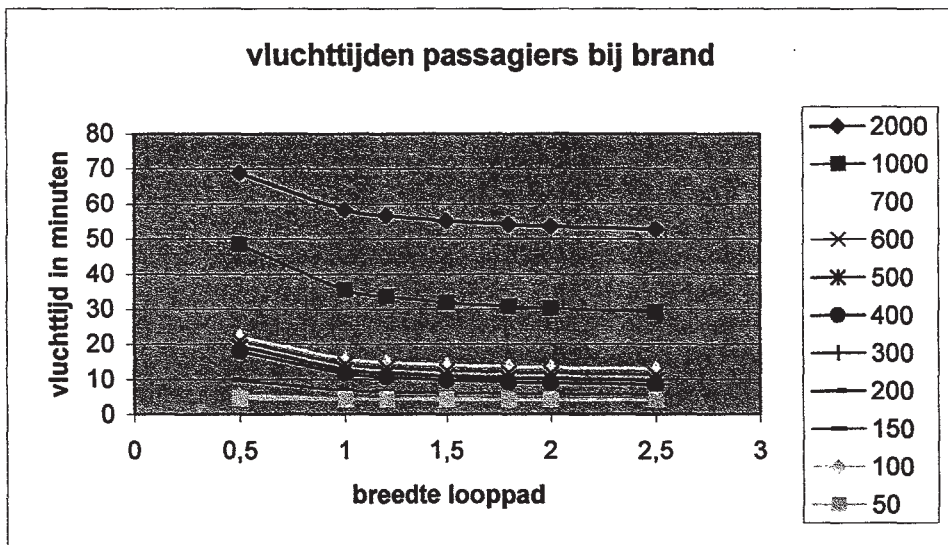
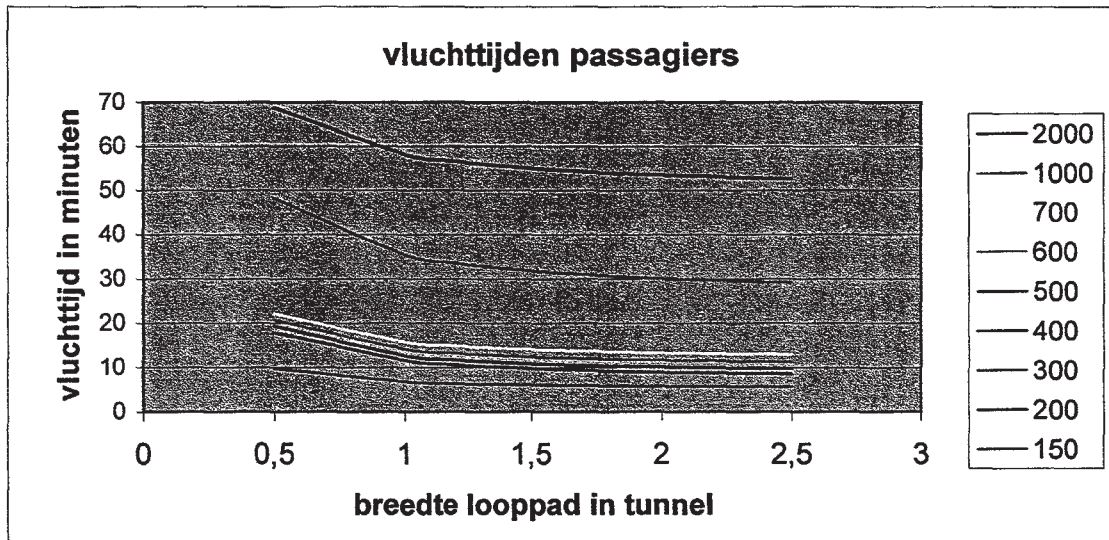
Bijlage F

**Vluchttijden passagiers m.b.t. afstand dwarsverbinding en
breedte looppad**



Vluchttijden in minuten en afstanden in meters

	afstand dwarsverbindingen										
breedte	2000	1000	700	600	500	400	300	200	150	100	50
0,5	68,79	48,34	22,15	20,65	19,33	17,8	17,83	9,63	9,63	5,42	4,59
1	58,22	35,48	15,79	14,09	12,7	11,6	11,62	6,64	6,64	4,37	4,31
1,2	56,61	33,62	14,91	13,18	11,75	10,6	10,6	6,25	6,25	4,27	4,28
1,5	55,05	31,85	14,1	12,35	10,88	9,68	9,68	5,91	5,91	4,2	4,26
1,8	54,02	30,72	13,6	11,84	10,35	9,13	9,13	5,72	5,72	4,16	4,24
2	53,52	30,17	13,36	11,59	10,11	8,87	8,87	5,63	5,63	4,14	4,24
2,5	52,62	29,2	12,94	11,17	9,68	8,45	8,45	5,49	5,49	4,11	4,23



Vluchttijden passagiers

Afstand tot vluchtdeuren is gevarieerd

Onderlinge afstand dwarsverbindingen	300 m
Effectieve breedte looppad	1,2 m
aantal personen	770
horizontale projectie ruimte per persoon	0,113 m ²
lengte	350 m
effectieve breedte	1,2 m
aantal te gebruiken dwarsverbindingen	1
aantal deuren in trein	14
tijdsduur uitstappen uit trein per passagier	3 sec

t = 0 tot t = 0,5

tweede buis vrij

tijdsduur	30 sec
aantal personen uitgestapt per deur	10
aantal personen uitgestapt totaal	140
relatieve dichtheid D	0,037667
snellheid op het looppad	49,422 m/min
emergency factor	1,47644
snellheid op het looppad	72,96862 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	15 pers

t = 0,5 tot t = 1 min

tijdsduur	60 sec
aantal personen uitgestapt per deur	20
aantal personen uitgestapt totaal	280
aantal personen op vluchtpad	265
relatieve dichtheid D	0,071407
snellheid op het looppad	43,58219 m/min
emergency factor	1,464294
snellheid op het looppad	63,81712 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	39 pers

t = 1 tot t = 1,5

tijdsduur	90 sec
aantal personen uitgestapt per deur	30
aantal personen uitgestapt totaal	420
aantal personen op vluchtpad	381
relatieve dichtheid D	0,102564
snellheid op het looppad	38,91148 m/min
emergency factor	1,453077
snellheid op het looppad	56,54138 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	70 pers

t = 1,5 tot t = 2,0

tijdsduur	120 sec
aantal personen uitgestapt per deur	40
aantal personen uitgestapt totaal	560
aantal personen op vluchtpad	490
relatieve dichtheid D	0,131946
snelheid op het looppad	35,0846 m/min
emergency factor	1,442499
snelheid op het looppad	50,60951 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	105

t = 2,0 tot t = 2,5

tijdsduur	150 sec
aantal personen uitgestapt per deur	50
aantal personen uitgestapt totaal	700
aantal personen op vluchtpad	595
relatieve dichtheid D	0,160073
snelheid op het looppad	31,89963 m/min
emergency factor	1,432374
snelheid op het looppad	45,69219 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	144

t = 2,5 tot t = 3,0

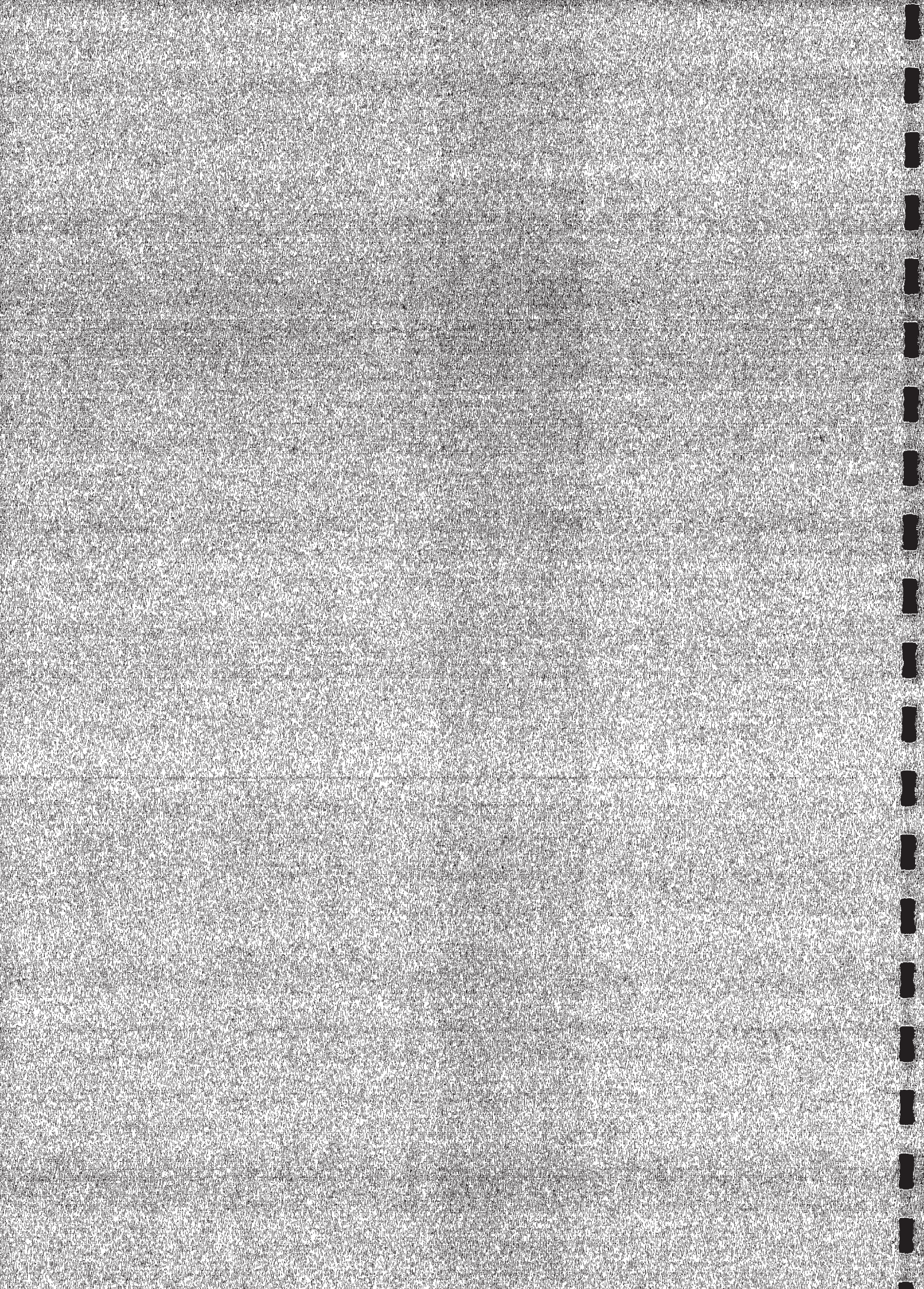
tijdsduur	180 sec
aantal personen uitgestapt per deur	5
aantal personen uitgestapt totaal	770
aantal personen op het looppad	626
relatieve dichtheid D	0,168458
snelheid op het looppad	31,03435 m/min
emergency factor	1,429355
snelheid op het looppad	44,35911 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	184

t = 3,0 totdat iedereen in veiligheid is

tijdsduur	180 sec
aantal personen uitgestapt per deur	0
aantal personen uitgestapt totaal	770
aantal personen op het looppad	586
relatieve dichtheid D	0,157782
snelheid op het looppad	32,14253 m/min
emergency factor	1,433198
snelheid op het looppad	46,06663 m/min
aantal personen in veiligheid in vluchtgang	77 personen per minuut
tijdsduur totdat iedereen is gevlucht	7,597691 minuten

Totale vluchttijd = 10,60 minuten

Bijlage G : Vluchtijden intoxicatie



Globale berekening uitstoot schadelijke stoffen bij brandende trein:

Bepaling vluchtsnelheid aan de hand van de uitstoot van CO

CO geeft onomkeerbaar letsel indien uitstoot meer is dan: 403 mg/m³

Treinlengte is 450 meter

Vrije ruimte in tunnel 100 m²

Tijd in min.	Hoeveelheid CO	toelaatbaar?
1	1,6	WAAR
2	3,2	WAAR
3	4,8	WAAR
4	6,4	WAAR
5	8	WAAR
6	9,6	WAAR
7	11,2	WAAR
8	12,8	WAAR
9	14,4	WAAR
10	16	WAAR
11	176	WAAR
12	192	WAAR
13	208	WAAR
14	224	WAAR
15	240	WAAR
16	1066,7	ONWAAR
17	1133,3	ONWAAR
18	1200,0	ONWAAR
19	1266,7	ONWAAR
20	1333,3	ONWAAR
21	1400,0	ONWAAR
22	1466,7	ONWAAR
23	1533,3	ONWAAR
24	1600,0	ONWAAR
25	1666,7	ONWAAR

Globale berekening uitstoot schadelijke stoffen bij brandende trein:

Bepaling vluchtsnelheid aan de hand van de uitstoot van HCl

HCl geeft onomkeerbaar letsel indien de uitstoot meer is dan: 30 mg/m³

Treinlengte is 450 meter

Vrije ruimte in tunnel 100 m²

Tijdsduur	hoeveelheid HCl	toelaatbaar?
1	0,9	WAAR
2	1,9	WAAR
3	2,8	WAAR
4	3,7	WAAR
5	4,7	WAAR
6	5,6	WAAR
7	6,5	WAAR
8	7,5	WAAR
9	8,4	WAAR
10	9,3	WAAR
11	107,1	ONWAAR
12	116,8	ONWAAR
13	126,5	ONWAAR
14	136,3	ONWAAR
15	146,0	ONWAAR
16	618,7	ONWAAR
17	657,3	ONWAAR
18	696,0	ONWAAR
19	734,7	ONWAAR
20	773,3	ONWAAR
21	812,0	ONWAAR
22	850,7	ONWAAR
23	889,3	ONWAAR
24	928,0	ONWAAR
25	966,7	ONWAAR

Globale berekening uitstoot schadelijke stoffen bij brandende trein:

Bepaling vluchtsnelheid aan de hand van de uitstoot van NO₂

NO geeft onomkeerbare letsel indien de uitstoot meer is dan: 22,9 mg/m³

Lengte van de trein 450 meter

Vrije ruimte in tunnel 100 m²

Tijdsduur	hoeveelheid NO ₂	toelaatbaar?
1	0,4	WAAR
2	0,8	WAAR
3	1,2	WAAR
4	1,6	WAAR
5	2,0	WAAR
6	2,4	WAAR
7	2,8	WAAR
8	3,2	WAAR
9	3,6	WAAR
10	4,0	WAAR
11	45,5	ONWAAR
12	49,6	ONWAAR
13	53,7	ONWAAR
14	57,9	ONWAAR
15	62,0	ONWAAR
16	277,3	ONWAAR
17	294,7	ONWAAR
18	312,0	ONWAAR
19	329,3	ONWAAR
20	346,7	ONWAAR
21	364,0	ONWAAR
22	381,3	ONWAAR
23	398,7	ONWAAR
24	416,0	ONWAAR