

Integrale veiligheid spoortunnels

Deel I: Veiligheidsfilosofie

Datum	8 mei 1998
Ons kenmerk	-
Bestand	ANALYS33.DOC
Opsteller	B.P. Smolders
Status	Eindrapport
Fase	4
Gecontroleerd	-
Goedgekeurd	-
Geautoriseerd	-

Projectorganisatie
Hogesnelheidslijn-Zuid
Infra
Postadres:
Postbus 2025
3500 HA Utrecht
Bezoekadres:
Catharijnesingel 33
Utrecht
Tel 030 - 272 84 00
Fax 030 - 272 84 44

Een olifant met manieren

“Voor de aanleg van nieuwe of bredere wegen en grote verkeerspleinen zijn miljarden guldens uitgetrokken. De porseleinkast van de infrastructuur wordt zo gemaakt dat de olifant er geen kwaad kan doen. Maar het kan geen kwaad om te proberen de olifant wat manieren bij te brengen.” [Camp & Erens, 1996]

Voorwoord

Na vijf en een half jaar studie aan de Faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft heeft u het resultaat in handen van één van mijn laatste activiteiten als student. Deze rapportage vormt het eindverslag van mijn afstudeeronderzoek dat mede mogelijk is gemaakt door NS Railinfrabeheer. Namens NS Railinfrabeheer heb ik stage gelopen bij de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra in Utrecht.

In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra wordt op dit moment hard gewerkt aan het ontwerp van de infrastructuur voor de HSL-Zuid, die in 2005 gereed zal moeten zijn. In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra werken NS Railinfrabeheer, Holland Railconsult en DHV Milieu en Infrastructuur samen onder verantwoordelijkheid van de Ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM.

De rapportage van het afstudeeronderzoek bestaat uit drie deelrapporten die min of meer onafhankelijk van elkaar gelezen kunnen worden. Het eerste deelrapport vormt het hoofdrapport waarin de gehanteerde veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid getoetst en uitgewerkt is voor de boortunnel onder het Groene Hart. Het tweede deelrapport is toegespitst op de boortunnel en bevat de specifieke uitwerking van de veiligheidsfilosofie naar veiligheidsoplossingen. Het derde deelrapport bevat de gedetailleerde analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten op basis waarvan de veiligheidsfilosofie in het eerste deelrapport is getoetst. In dit laatste deelrapport kunt u ook de overige achtergrondinformatie vinden.

Ik wil van deze gelegenheid gebruik maken om een aantal personen te bedanken voor de begeleiding, het meedenken en de ondersteuning. Als eerste mijn afstudeercommissie met Prof.dr.s.ir. J.K. Vrijling, Prof. ir. E. Horvat, Dr.ir. J.A.A.M. Stoop, ir. W. van Hengel en drs. H.H. Snel. Speciaal Harry die als dagelijks begeleider altijd even tijd nam voor een korte discussie of filosofische gedachte. Ir. Petra van Zutphen wil ik bedanken voor de laatste check op de rapportage. Tot slot wil ik vrienden, vriendinnen en familie bedanken voor hun directe maar ook zeker indirecte ondersteuning.

Ik hoop dat u na het lezen van deze rapportage inzicht heeft gekregen in de veiligheidsproblematiek bij infrastructurele projecten en dat u duidelijk is wat integrale veiligheid concreet betekent.

Bart Smolders

Utrecht, 8 mei 1998

Voorliggende rapportage is het resultaat van een afstudeeronderzoek bij de Faculteit Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderzoek is namens NS Railinfrabeheer uitgevoerd bij de Projectorganisatie HSL-Zuid Infra. De auteur of één van bovengenoemde organisaties neemt geen enkele verantwoordelijkheid voor de uitwerking of interpretatie van de gepresenteerde resultaten.

Samenvatting

Deelrapport I is het hoofdrapport van de drie deelrapporten die samen de rapportage vormen van het afstudeeronderzoek naar veiligheid van reizigers in spoortunnels. Het afstudeeronderzoek heeft als titel "Integrale veiligheid spoortunnels" en heeft, namens NS Railinfrabeheer, plaatsgevonden bij het Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft en is begeleid door een afstudeercommissie. De afstudeercommissie bestaat uit Prof.dr.s.ir. J.K. Vrijling (Vakgroep Waterbouwkunde, Civiele Techniek), Prof.ir. E. Horvat (Sectie Ondergronds Bouwen, Civiele Techniek), Dr.ir. J.A.A.M. Stoop (Techniek, Bestuur en Maatschappij), Drs. H.H. Snel (NS-Railinfrabeheer) en ir. W. van Hengel (Bouwdienst Rijkswaterstaat).

Het doel van dit afstudeeronderzoek is het optimaal integreren van een onderbouwde veiligheidsfilosofie in het ontwerp van de tunnel onder het Groene Hart ten behoeve van de HSL-Zuid. In dit eerste deelrapport is de veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid vergeleken met de veiligheid bij andere infrastructurele projecten. Het resultaat van deze vergelijking vormt de basis voor de methodiek waarmee in deelrapport II de veiligheid voor de boortunnel onder het Groene Hart nader wordt uitgewerkt. Deelrapport III bevat de analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten en overige achtergrondinformatie.

Deelrapport I bevat de vergelijking van de verschillende projecten op basis van een aantal criteria. Het resultaat is een zestal methoden van omgaan met veiligheid, conflicten op verschillende niveaus, grote verschillen in de belangen van de betrokken partijen en grote verschillen in de uiteindelijke keuze van veiligheidsmaatregelen. Op basis van deze vergelijking is een aantal aanvullingen op het Integraal VeiligheidsPlan voor de HSL-Zuid voorgesteld.

De belangrijkste aanbeveling is om veiligheid multidisciplinair te benaderen door in een vroegtijdig stadium de belangen van de verschillende belanghebbenden te analyseren. De tweede stap in de multidisciplinaire benadering is het uitvoeren van een probabilistische analyse van het integrale vervoerssysteem, waarna in de derde en belangrijkste stap de interpretatie en de uitwerking van de eisen in de probabilistische analyse plaatsvindt. Deze derde stap is essentieel doordat het volledige vervoerssysteem moet voldoen aan de toepisen van het Integraal VeiligheidsPlan en een balans gevonden moet worden in de verschillende belangen van de betrokken partijen. Belangen die een rol spelen zijn economische belangen, de perceptie van de toekomstige gebruikers en de belangen van hulpverlenende diensten.

Een tweede aanbeveling is om de normering van het maatschappelijk risico aan te passen en een stricter onderscheid te maken in het opstellen en onderbouwen van de normering en vervolgens het toetsen van het systeem aan de normering. In het Integraal VeiligheidsPlan worden twee toepisen onderscheiden, de Karakteristieke Waarde (KW) voor het maatschappelijk risico en het Persoonlijk Risico (PR) voor het risico van de individuele reiziger. Voorgesteld wordt om de KW te verhogen tot 14,8 slachtoffers per jaar voor het gehele systeem.

Aanbevolen wordt om het PR evenredig toe te delen over het traject omdat een onevenredige verdeling moeilijk eenduidig uitlegbaar en daardoor niet acceptabel is. De KW dient in principe ook evenredig over het systeem verdeeld te worden, waarbij een integrale afweging uitsluitel moet geven over de mate van evenredigheid. Een integrale afweging die plaats vindt op basis van aspecten als bijvoorbeeld inpassing in de omgeving, milieu-overlast, kostenaspecten en veiligheid.

Deelrapport II bevat de specificatie van de veiligheidsfilosofie naar de veiligheid voor de boortunnel onder het Groene Hart. Een referentie-ontwerp is geformuleerd waarvan het risiconiveau met behulp van een risico-analyse is gekwantificeerd. Ook het effect van een aantal aanvullende veiligheidsmaatregelen in het ontwerp is gekwantificeerd. De verschillende veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld naar de schakels in de veiligheidsketen, zoals die door het Ministerie van Binnenlandse Zaken zijn geïntroduceerd. Deze keten bestaat uit de schakels Pro-actie, Preventie, Preparatie, Repressie en Nazorg.

Het referentie-ontwerp op basis waarvan de veiligheidsmaatregelen zijn vergeleken omvat het integrale systeem van een trein die door een tunnel rijdt. Het referentie-ontwerp bestaat uit de subsystemen infrastructuur, verkeersleiding, procesvoering, beveiliging trein & baan en het rollend materieel.

Een brandende trein is als maatgevende begingebourtenis aangehouden voor de veiligheid van de gebruikers. Bij deze calamiteit bestaat direct gevaar voor de reizigers door de beperkte beschikbare tijd voor evacuatie door de rookontwikkeling en de hoge temperatuur. Indien het systeem voldoende effectief is om deze calamiteit het hoofd te bieden, wordt aangenomen dat dit ook geldt voor minder kritische calamiteiten, zoals botsing en ontsporing. Het proces is uitgewerkt aan de hand van vier essentiële gebeurtenissen: Brand in de trein, stop in de tunnel, evacuatie en hulpverlening. Voor het referentie-ontwerp is de kans op een brandende trein die in de tunnel onder het Groene Hart tot stilstand komt $3,5 \cdot 10^{-3}$ per jaar. Het resultaat van de volledige kwantificering is een PR voor de reizigers van 3,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. De KW voor de reizigers is 183,2 slachtoffers per jaar.

Het effect van de veiligheidsmaatregelen is gekwantificeerd en het resultaat is geïnterpreteerd en getoetst aan de veiligheidseisen. Aanbevolen wordt om brandwerend materiaal in de treinen toe te passen, een jaarlijkse training van het treinpersoneel, dwarsverbindingen om de 500 meter, verlichting en markering van de vluchtroute, training van de hulpverlenende diensten en het gebruik van andere treinen voor de evacuatie. Toepassing van deze maatregelen levert een PR van 0,023 slachtoffers per jaar en een KW van 8,2 slachtoffers per jaar. Voor de veiligheid van de boortunnel blijken maatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen maximaal effectief te zijn en voor de gevolgenbeheersing vormt maximale zelfredzaamheid de belangrijkste sturende parameter.

Deelrapport III bevat een aantal analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten. Een analyse is gemaakt van de integratie van veiligheid in het ontwerp van de Störebelttunnel in Denemarken, de Channel Tunnel Rail Link in Engeland, de Kanaaltunnel, de Westerschelde Oeververbinding en de Willemspoortunnel in Rotterdam. De analyses bevatten de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de onderbouwing van de uiteindelijk gekozen veiligheidsmaatregelen. Deze analyses vormen de basis voor de vergelijking in deelrapport I.

Tot slot is een aantal conclusies geformuleerd. De belangrijkste conclusie is dat veiligheid continu integraal over het gehele systeem en multidisciplinair benaderd dient te worden. Op deze manier kan een optimaal ontwerp verkregen worden dat door alle partijen geaccepteerd wordt. Indien de complexiteit van veiligheid in een vroegtijdig stadium inzichtelijk wordt, kunnen besluitvormende partijen een gefundeerde beslissing nemen. Voor de boortunnel onder het Groene Hart dient echter op korte termijn overeenstemming te bestaan tussen de betrokken partijen, desnoods met een maximale investering in veiligheid. De boortunnel ligt op het kritieke pad voor het totale project en een vertraging in het proces heeft grote gevolgen.

Inhoudsopgave

Voorwoord		ii
Samenvatting		iv
1	Inleiding	7
2	Plan van aanpak	9
	2.1 Probleemstelling	9
	2.2 Fasering & tijdsplanning	9
	2.3 Begeleiding	11
3	Veiligheid & Ondergronds Bouwen	13
	3.1 Perceptie	13
	3.1.1 Persoonlijk- en groepsrisico	13
	3.1.2 Risico-acceptatie	14
	3.1.3 Sociale veiligheid	14
	3.2 Sturen op veiligheid	15
	3.2.1 Deterministisch naast probabilistisch	15
	3.2.2 Veiligheidsketen	15
	3.2.3 Belanghebbenden	16
	3.2.4 ALARA-principe	16
	3.2.5 Risico-analyse	17
	3.3 Menselijk gedrag bij calamiteiten	19
	3.4 Integraal afwegen & veiligheid	20
4	Veiligheid bij de Hogesnelheidslijn-Zuid	21
	4.1 Projectomschrijving HSL-Zuid	21
	4.2 Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, fase 1	21
	4.2.1 Achtergronden	22
	4.2.2 Veiligheidsfilosofie	22
	4.2.3 Instrumentarium	25
	4.2.4 Besturingsfilosofie	28
	4.3 Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, fase 2	29
5	Veiligheid infrastructurale projecten	31
	5.1 Willemspoortunnel	31
	5.2 Westerschelde Oeververbinding	32

5.3	Störebelttunnel	33
5.4	Kanaaltunnel	34
5.5	Channel Tunnel Rail Link	37
6	Toetsing & Vergelijking veiligheid HSL-Zuid	39
6.1	Referentie: Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid	39
6.2	Vergelijkingscriteria & vergelijking infrastructurele projecten	40
6.3	Aanvulling Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid	44
7	Boortunnel Groene Hart	49
7.1	Methodiek	49
7.1.1	Doelstelling & implementatie	49
7.1.2	Maatgevende begingebourtenis	49
7.1.3	Veiligheidsseisen	50
7.1.4	Veiligheidsmaatregelen	51
7.2	Kwantificering risiconiveaus	51
7.2.1	Referentie-ontwerp	52
7.2.2	Veiligheidsmaatregelen	56
7.3	Integrale veiligheid boortunnel Groene Hart	56
7.3.1	Conclusies model	57
7.3.2	Conclusies veiligheid	57
7.3.3	Aanbevelingen	58
8	Integrale veiligheid spoortunnels	59
8.1	Algemene conclusies	59
8.2	Conclusies analyses infrastructurele projecten	59
8.3	Conclusies integrale veiligheid	60
8.4	Conclusies boortunnel Groene Hart	60
8.5	Aanbevelingen	61
8.6	Stellingen	61
9	Literatuur	63

Inhoud deelrapport II: Boortunnel Groene Hart

Voorwoord		ii
Samenvatting		iv
1	Inleiding	3
2	Plan van aanpak	5
	2.1 Doelstelling	5
	2.2 Implementatie	5
	2.3 Maatgevende begingebuurtenis	6
	2.4 Veiligheidseisen boortunnel Groene Hart	8
	2.5 Veiligheidsmaatregelen	9
3	Systeembeschrijving referentie-ontwerp	13
	3.1 Infrastructuur ontwerp	13
	3.2 Verkeersleiding	14
	3.3 Procesvoering	14
	3.4 Rollend materieel	14
	3.5 Beveiliging trein & baan	15
4	Kwantificering referentie-ontwerp	17
	4.1 Hoofdgebuurtenissenboom	17
	4.2 Essentiële gebeurtenis A: Brand in de trein	18
	4.3 Essentiële gebeurtenis B: Stop in de tunnel	21
	4.3.1 Essentiële gebeurtenis B.1: Detectie	21
	4.3.2 Essentiële gebeurtenis B.2: Blussen	22
	4.3.3 Essentiële gebeurtenis B.3: Gedwongen stop in de tunnel	22
	4.4 Essentiële gebeurtenis C: Evacuatie	27
	4.4.1 Essentiële gebeurtenis C.1: Snelle start evacuatie	28
	4.4.2 Essentiële gebeurtenis C.2: Ontwikkeling van de brand	28
	4.4.3 Essentiële gebeurtenis C.3: Evacuatie van de reizigers	29
	4.5 Essentiële gebeurtenis D: Hulpverlening	32

4.6	Resultaten t.a.v. veiligheid	35
5	Kwantificering veiligheidsmaatregelen	39
5.1	Veiligheidsmaatregelen schakel 1: Pro-actie	39
5.1.1	Maatregel 1.A: Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting	39
5.1.2	Maatregel 1.B: Gebruik van brandwerend materiaal in de trein	40
5.1.3	Maatregel 1.C: Intensieve training van personeel over handelen bij brand	42
5.2	Veiligheidsmaatregelen schakel 2: Preventie	44
5.2.1	Maatregel 2.A: Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers	44
5.2.2	Maatregel 2.B: Automatische branddetectie in technische ruimtes	44
5.3	Veiligheidsmaatregelen schakel 3: Preparatie	45
5.3.1	Maatregel 3.A: Ventilatie	45
5.3.2	Maatregel 3.B: Dwarsverbindingen om de 750 meter	47
5.3.3	Maatregel 3.C: Dwarsverbindingen om de 500 meter	49
5.3.4	Maatregel 3.D: Dwarsverbindingen om de 250 meter	50
5.3.5	Maatregel 3.E: Schachten naar maaiveld,	52
5.3.6	Maatregel 3.F: Verlichting en markering van het vluchtkanaal	52
5.3.7	Maatregel 3.G: Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties	53
5.4	Veiligheidsmaatregelen schakel 4: Repressie	53
5.4.1	Maatregel 4.A: Vergroten brandweercapaciteit in de regio	54
5.4.2	Maatregel 4.B: Training van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel	54
5.5	Veiligheidsmaatregelen schakel 5: Nazorg	55
5.5.1	Maatregel 5.A: Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden	55
6	Integrale veiligheid tunnel Groene Hart	57
6.1	Resultaat	57
6.2	Interpretatie veiligheidsmaatregelen	58
6.3	Aanvullen overige calamiteiten	61
6.4	Kwantificering referentie-ontwerp met veiligheidsmaatregelen	62
6.5	Toetsing kwantificering	63
7	Resultaat boortunnel Groene Hart	69
7.1	Conclusies model	69
7.2	Conclusies veiligheid	69
7.3	Aanbevelingen	70
8	Literatuur	71

Inhoud deelrapport III: Bijlagen

Bijlage A:	Krantenartikelen "Veiligheid in de Maatschappij"
Bijlage B.1:	Gegevens menselijk gedrag bij brand
Bijlage B.2:	Casuïstiek brand in treinmaterieel in Nederland
Bijlage C.1:	Overzicht HSL-Zuid tracé
Bijlage C.2:	Planning & procedures HSL-Zuid
Bijlage C.3:	Overzicht ongevallen conventioneel spoor
Bijlage D.0:	Analyse veiligheid Willemspoortunnel
Bijlage E.0:	Analyse veiligheid Westerschelde Oever Verbinding
Bijlage E.1:	Samenvatting TNO-studie: Vergelijking veiligheid voor de weggebruiker van twee varianten van de Westerschelde Oeververbinding.
Bijlage E.2:	Vergelijking effect meenemen risico-aversie
Bijlage E.3:	Optimalisatie dwarsverbindingen Westerschelde Oeververbinding
Bijlage F.0:	Analyse veiligheid Störebelttunnel
Bijlage F.1:	Dwarsdoorsnede Störebelttunnel
Bijlage G.0:	Analyse veiligheid Kanaaltunnel
Bijlage G.1:	Materieel Kanaaltunnel
Bijlage G.2:	Overzicht ongevallen conventioneel Engels spoor
Bijlage G.3:	Gebeurtenissenboom brand in een goederenshuttle
Bijlage G.4:	Artikel Cement: Brand in de Kanaaltunnel
Bijlage G.5:	Artikel Modern Railways: <i>Eurotunnel's fateful night, What actually happened!</i>
Bijlage H.0:	Analyse veiligheid Channel Tunnel Rail Link
Bijlage H.1:	CTRL: Risico-normen voor passagiers en publiek
Bijlage H.2:	CTRL: Risico-normen voor personeel
Bijlage H.3:	CTRL: Normen voor maatschappelijk risico
Bijlage H.4:	CTRL: Resultaten risico-analyse voor dwarsverbindingen London Tunnel
Bijlage I.0:	Onderbouwing aanpassing normering maatschappelijk risico HSL-Zuid
Bijlage I.1:	Vergelijking F-N curven, traject van 100 kilometer
Bijlage I.2:	Vergelijking F-N curven per kilometer
Bijlage I.3:	F-N curve maatschappelijk risico HSL-Zuid, traject van 100 kilometer
Bijlage J.1:	Systeembeschrijving materieel

1 Inleiding

“De vraag hoe het met de veiligheid zit, wordt vandaag de dag frequent gesteld. Met andere woorden: veiligheid krijgt steeds meer aandacht; ook in het bouwproces en het resultaat daarvan: het eigenlijke bouwwerk. Maar veiligheid heeft zich nog niet verankerd in het bouwproces; in die zin dat het een vast item is in beleid, normen en projectvoorbereiding. Veiligheid kan momenteel nog meer met de termen ‘ad hoc’ en ‘achteraf’ worden geassocieerd dan met de kwalificaties ‘structureel’, ‘pro-actief’ en ‘preventief’.

Niet alleen Nederland, maar ook een land als Japan blijft het antwoord schuldig op de vraag hoe veiligheid integraal wordt opgenomen in ondergrondse bouwprocessen. “Good question, next question, please”, kregen Nederlandse vertegenwoordigers bij een bezoek aan ondergrondse projecten in Japan te horen.” [COB Nieuws, september 1997]

Zowel ondergronds bouwen als veiligheid kenmerken zich door een grote mate van complexiteit. Bovenstaand citaat geeft duidelijk weer dat veiligheid nog niet als een volledig integraal onderdeel is opgenomen in het ontwerpproces van zowel boven- als ondergrondse projecten. Dit afstudeeronderzoek, ten behoeve van het project Hogesnelheidslijn-Zuid, maakt de veiligheidsproblematiek en de daarmee samenhangende beslissingen in het ontwerpproces zichtbaar. Het afstudeeronderzoek beperkt zich tot de veiligheid van de treinreizigers in het totale vervoerssysteem, tijdens de exploitatie.

De rapportage van dit afstudeeronderzoek bestaat uit drie deelrapporten die min of meer onafhankelijk van elkaar gelezen kunnen worden. In dit eerste deelrapport is de veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid vergeleken met de veiligheid bij andere infrastructurele projecten. Het resultaat van deze vergelijking vormt de basis voor de methodiek waarmee in deelrapport II de veiligheid van de Boortunnel onder het Groene Hart wordt uitgewerkt. Een set van veiligheidseisen voor de boortunnel is geformuleerd die vervolgens in een referentie-ontwerp zijn uitgewerkt. Dit referentie-ontwerp en een toetsingsmethodiek maakt de vergelijking van de veiligheidsoplossingen mogelijk. Het derde deelrapport bevat de analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten. De integratie van veiligheid in het ontwerp is geanalyseerd voor de Störebelttunnel in Denemarken, de Kanaaltunnel, de Channel Tunnel Rail Link in Engeland, de Westerschelde OeverVerbinding en de Willemspoortunnel in Rotterdam.

Dit eerste deelrapport is als volgt ingedeeld: Hoofdstuk 2 bevat het plan van aanpak voor het onderzoek en hoofdstuk 3 geeft enige algemene achtergrondinformatie over veiligheid. Het referentiepunt voor de vergelijking, het Integraal Veiligheids Plan HSL-Zuid, wordt beschreven in hoofdstuk 4. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de analyses van een aantal infrastructurele projecten op hoofdlijnen weergegeven. De vergelijking van de infrastructurele projecten is uitgewerkt in hoofdstuk 6 op basis waarvan in hoofdstuk 7 wordt ingezoomd op de boortunnel onder het Groene Hart. De resultaten zijn samengevat in hoofdstuk 8.

Voor de deskundige lezer is met name de vergelijking in hoofdstuk 6 interessant, het resultaat voor de boortunnel in hoofdstuk 7 en de algehele conclusies in hoofdstuk 8. Voor lezers met weinig relevante achtergrondinformatie bevat hoofdstuk 3 enige algemene informatie en hoofdstuk 4 specifieke informatie over de veiligheidsfilosofie bij de HSL-Zuid. Voor de gedetailleerde uitwerking van het referentie-ontwerp voor de boortunnel wordt verwezen naar het tweede deelrapport en de gedetailleerde analyses van de infrastructurele projecten zijn opgenomen in deelrapport III.

2 Plan van aanpak

2.1 Probleemstelling

Kernvragen afstudeeronderzoek

In september 1997 is gestart met het afstudeeronderzoek aan de hand van de volgende kernvragen:

- Is het Integraal VeiligheidsPlan voor iedere betrokken partij voldoende, wat betreft omvang, inhoud en niveau?
- Is de veiligheidsfilosofie toepasbaar voor de veiligheid van de tunnel onder het Groene Hart in de gebruiksfase?
- Hoe wordt de veiligheidsfilosofie optimaal geïmplementeerd in het ontwerpproces, specifiek voor de tunnel onder het Groene Hart?
- Hoe groot is het uiteindelijke restrisico nadat de hoofdbeslispunten in het ontwerp zijn gepasseerd en is dit restrisico toelaatbaar en uitlegbaar? Dit is met name erg belangrijk voor de projectorganisatie, die moet kunnen aantonen dat het restrisico acceptabel is.

Hoofddoelstelling

Doel van dit afstudeeronderzoek is, om te komen tot een optimale integratie van een onderbouwde veiligheidsfilosofie voor spoortunnels voor reizigers, specifiek voor het ontwerp van de tunnel onder het Groene Hart, ten behoeve van de HSL-Zuid.

Uitgangspunten

- Een onderbouwde veiligheidsfilosofie voor de tunnel vereist een integrale beschouwing van de gehele veiligheidsfilosofie van de HSL-Zuid, waarna vervolgens kan worden gespecificeerd naar de tunnel.
- De scope van het onderzoek bevat het Nederlandse gedeelte van de HSL, in de derde fase toegespitst naar alleen de boortunnel onder het Groene Hart.
- De vereiste veiligheid zal uiteindelijk geoptimaliseerd worden op een zo goed mogelijke kostenafweging.

2.2 Fasering & tijdsplanning

Implementatie hoofddoelstelling

Om het uiteindelijke doel te bereiken is het afstuderen gesplitst in een aantal fases:

0. *Werkplan opstellen*

1. *Toetsing van de veiligheidsfilosofie*

Informatie over bestaande projecten wordt geanalyseerd op basis van de volgende vragen:

- Wat zijn de gehanteerde normen geweest in het ontwerpproces (Individueel/ Collectief)?
- Welk veiligheidsniveau is bereikt en voldoet dit aan de normen?
- Wie zijn de betrokken partijen (belanghebbenden)? De betrokken partijen hebben verschillende veiligheidsbelangen, voortkomend uit uiteenlopende verantwoordelijkheden.
- In welke fasen van de veiligheidsketen worden maatregelen getroffen en hoe hangen deze samen?

2. *Optimalisatie van het veiligheidsniveau in de tunnel, t.o.v. de veiligheid op het overige tracé.*

Aan de hand van deterministische eisen worden de grenzen bepaald waarbinnen probabilistische afwegingen kunnen leiden tot maximaal economische ontwerpen.

In deze fase is het erg belangrijk om gevoel te krijgen voor de maximaal maatschappelijk en bestuurlijk acceptabele afwijking van het vereiste veiligheidsniveau voor een tracé-onderdeel, zoals bijvoorbeeld een tunnel.

3. *Optimalisatie in de toepassing van veiligheidsvoorzieningen in de tunnel.*

Voor de veiligheid in de tunnel is een drietal maatgevende scenario's van belang namelijk, botsing, ontsporing en brand of combinaties hiervan. Het vereiste veiligheidsniveau kan door een aantal constructieve eisen in het ontwerp bereikt worden. Een optimalisatie tussen de verschillende mogelijkheden, moet de economisch gunstige oplossing naar voren brengen.

Nadat in de tweede fase de veiligheidsnorm voor het tunnelgedeelte vast is komen te staan, wordt een aantal mogelijke ontwerp-oplossingen geïnventariseerd (bijvoorbeeld ventilatiesysteem of vluchtwegen). Voor iedere ontwerp-oplossing worden de verbetering van het veiligheidsniveau en de bijbehorende kosten bepaald.

Het doel van deze fase is om de ontwerpers van de tunnel onder het Groene Hart een aantal veiligheidseisen op te leggen met daarbij de bijbehorende ontwerp-oplossingen en consequenties voor de kosten en het veiligheidsniveau. De ontwerpers hebben op deze manier de mogelijkheid om integraal voor alle aspecten een economisch optimaal ontwerp te maken.

4. *Afronding & implementatie*

Tijdsplanning

	Tijdsbesteding	Tijdperiode
Fase 0: Werkplan	10 %	week 36 - 38
Fase 1: Analyse literatuur	30 %	week 39 - 47
Fase 2: Veiligheid tunnel	25 %	week 51 - 5
Fase 3: Uitwerking veiligheid	25 %	week 7 - 15
Fase 4: Afronding	10 %	week 16- 19

N.B.: Totale duur afstuderen: 30 weken verspreid over 8 maanden

Figuur 2.1: Korte weergave tijdsplanning

2.3 Begeleiding

Het afstudeeronderzoek heeft plaatsgevonden bij de projectorganisatie HSL-Zuid Infra in Utrecht en is begeleid door de leden van de afstudeercommissie. De gehele afstudeercommissie is na iedere fase bij elkaar gekomen om de voortgang van het afstudeeronderzoek te toetsen. Tussentijds zijn de verschillende leden van de commissie afzonderlijk geconsulteerd, afhankelijk van de directe behoefte.

Afstudeercommissie

- Prof. drs. ir. J.K. Vrijling,
Hoogleraar Probabilistisch Ontwerpen, Civiele Techniek, TU Delft
- Prof. ir. E. Horvat,
Hoogleraar Ondergronds Bouwen, Civiele Techniek, TU Delft
- Dr. ir. J.A.A.M. Stoop,
Universitair Hoofddocent Veiligheidskunde, Techniek, Bestuur en Maatschappij, TU Delft
- Drs. H.H. Snel,
Projectleider veiligheid, Projectorganisatie HSL-Zuid Infra
- Ir. W. van Hengel,
Uitvoerend projectleider Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, Bouwdienst Rijkswaterstaat

3 Veiligheid & Ondergronds Bouwen

In dit hoofdstuk wordt aandacht gegeven aan enkele relevante achtergronden bij het begrip veiligheid. Een kenmerkend verschijnsel voor veiligheid is het gebrek aan eenduidigheid en de subjectiviteit van het begrip. Verschillende betrokken partijen hanteren uiteenlopende normen afhankelijk van gevoelsmatige betrokkenheid, verantwoordelijkheid of bijvoorbeeld economische overwegingen.

3.1 Perceptie

Het gebruik van ondergrondse ruimten en de bijbehorende mate van geaccepteerde veiligheid wordt in grote mate beïnvloed door de perceptie van de gebruikers. Dit is meteen een verklaring voor de moeizame ontwikkeling van eenduidige (uitlegbare) veiligheidsnormen.

Een kwantificering van veiligheid is mogelijk in termen van risico waardoor het gewenste veiligheidsniveau wordt uitgedrukt in acceptabele risiconiveaus. Desondanks voelen Nederlanders zich veilig achter hun dijken met een faalkans van 1/1.250 jaar en minder veilig naast een chemische fabriek met een faalkans van 1/1.000.000 jaar. [CUR 190, maart 1997]

Niet alleen de perceptie van veiligheid is van belang, ook het imago van ondergronds bouwen. Ondergrondse ruimten hebben niet altijd een positief imago maar worden al snel geassocieerd met donker, nat, instortingsgevaar, overstromen, rampen in mijnen en metrobranden. Dit in tegenstelling tot wolkenkrabbers, hoewel objectief gezien de veiligheidsaspecten voor beiden vergelijkbaar zijn. Om sociaal negatieve gevoelens over het gebruik van ondergrondse ruimten uit te bannen is een aanzienlijke inspanning noodzakelijk vanuit de technologie, psychologie en de sociologie. [COB & BiZa, november 1997]

Een kwantificering van veiligheid bij ondergrondse ruimten kan plaats vinden in termen van risico, waarbij daarnaast ook aandacht geschonken dient te worden aan de perceptie van de betrokkenen. Het begrip risico kent meer dimensies, zoals economische schade, letsel en/of doden of emotionele schade. Mogelijke toetsingscriteria zijn:

- Persoonlijke acceptatie van risico's,
- maatschappelijke acceptatie van risico's,
- economische gevolgen.

TNO hanteert hierbij het beginsel dat het sterkste criterium maatgevend is voor de veiligheid. [TNO Bouw, juni 1995]

3.1.1 Persoonlijk- en groepsrisico

In bovenstaande toetsingscriteria wordt onderscheid gemaakt in twee soorten risico's, het persoonlijk en het groepsrisico. Het persoonlijk of het individueel risico is gedefinieerd als de kans per jaar dat een persoon een bepaald nadelig effect ondervindt als gevolg van een bepaalde activiteit. Het groepsrisico is de kans per jaar dat in één keer een groep van een bepaalde grootte nadelige effecten ondervindt als gevolg van een activiteit. [Railned, november 1997]

Het onderscheid in persoonlijk- en groepsrisico is gemaakt op basis van de perceptie van betrokken partijen. In Nederland overlijden per jaar circa 1.300 mensen in het verkeer. Deze grotendeels individuele verkeersongelukken veroorzaken geen grote commotie bij de pers. Een groot ongeluk met veel doden of gewonden krijgt echter wel brede aandacht in de pers, zoals bijvoorbeeld een ongeluk met een bus vol schoolkinderen op vakantie in Winterberg of een vliegtuigongeluk met een bijna voltallig muziekcorsus.

Ondanks de maatschappelijke aversie tegen groepsrisico is het gebruik van vliegtuigen alom geaccepteerd. Het luchttransport heeft een relatief veilig karakter maar zo nu en dan vindt een incident plaats waarbij grote aantallen doden en gewonden te betreuren zijn. Deze ongelukken met grote gevolgen en een zeer kleine kans van optreden zijn echter maatschappelijke niet onaanvaardbaar. Luchttransport van goederen en reizigers vormt een geaccepteerde transportmodaliteit. Over 50 jaar kan het gebruik van ondergrondse ruimtes, zoals lange tunnels, op dezelfde manier geaccepteerd zijn vanwege de grote voordelen voor het milieu en de inpassing in de omgeving. Datzelfde geldt nu voor het luchttransport met grote voordelen als hoge transportsnelheid en grote reikwijdte.

Op basis van de oude veiligheidsfilosofieën voor luchttransport zijn in alle vliegtuigen nog steeds zwemvesten aanwezig, om te kunnen overleven bij een noodlanding in zee. Vliegtuigen vliegen echter grotendeels over land en bovendien zijn de hedendaagse vliegtuigen dusdanig groot dat de kans op een geslaagde noodlanding in zee zeer klein is. Op basis van perceptie-overwegingen wordt echter nog steeds een aanzienlijk percentage van het totaal te transporteren gewicht in een vliegtuig besteed aan reddingsvesten voor passagiers.

3.1.2 Risico-acceptatie

De acceptatie van risico's is afhankelijk van een aantal aspecten, waarbij onderscheid gemaakt kan worden in aspecten voor persoonlijk risico en aspecten voor maatschappelijk risico. De mate waarin persoonlijke risico's geaccepteerd worden, is afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals: [PHZ, september 1997]:

- De afschrikwekkendheid van de gevolgen, waarbij het vooral gaat om een kleine kans van optreden. Mensen laten zich meer leiden door de aard van de gevolgen dan door de kans van optreden.
- Een geringe bekendheid met het risico. De uitgestelde en onbekende effecten verminderen de aanvaardbaarheid.
- De vrijwilligheid waarmee een risico wordt aangegaan.
- De beïnvloedbaarheid van het risico. Risico's waarop men denkt invloed te kunnen uitoefenen worden eerder geaccepteerd dan risico's waarop men geen invloed kan uitoefenen.
- Het persoonlijke voordeel bepaalt ook in grote mate de acceptatie van een risico.

De maatschappelijke acceptatie heeft betrekking op risico's voor de totale bevolking. Hoewel in de maatschappelijke besluitvorming voor elk project de maatschappelijke baten worden afgewogen tegen de maatschappelijke lasten, waaronder ook de risico's, is het waarde-oordeel van geaccepteerde risico's meestal moeilijk expliciet te onderscheiden. Het vaststellen van de maatschappelijke acceptatie vindt doorgaans proefondervindelijk plaats. De gemeenschap kijkt naar de totale gevolg van een gebeurtenis, waaronder het aantal slachtoffers, materiële en economische schade en het verlies van immateriële zaken. [CUR 190, maart 1997]

3.1.3 Sociale veiligheid

Een belangrijk aspect in het gebruik van ondergrondse ruimten is het gevoel van sociale veiligheid bij de gebruikers. Sociale veiligheid is niet direct gerelateerd aan een werkelijke dreiging, maar heeft een sterk verband met bijvoorbeeld, angstgevoelens, bezorgdheid, verontrusting, verwachte negatieve consequenties en risicoperceptie. [TNO MEP, april 1997]

In het ontwerp van een ondergrondse constructie dient op mogelijke gevoelens van sociale veiligheid geanticipeerd te worden. Dit om een verminderd gebruik te voorkomen. Factoren die de sociale veiligheid beïnvloeden hebben ook overlap met gelegenheidsfactoren ten aanzien van criminaliteit. Factoren die de sociale veiligheid beïnvloeden zijn eigenschappen van de omgeving, sociale factoren in de omgeving, eigenschappen van de gebruikers en het tijdstip waarop van de omgeving gebruik wordt gemaakt.

3.2 Sturen op veiligheid

In deze paragraaf wordt kort een aantal belangrijke kenmerken van beheersingsmogelijkheden van veiligheid beschreven.

3.2.1 Deterministisch naast probabilistisch

Het is nog niet gebruikelijk om de veiligheid van een systeem volgens één geaccepteerde methode te benaderen. Verschillende partijen hanteren andere benaderingswijzen, bijvoorbeeld de probabilistische en de deterministische benadering. In de praktijk is in veel domeinen en disciplines een verscheidenheid aan normen, benaderingen, methoden en technieken ontstaan, die elk een eigen toepassings- en geldigheidsgebied lijken te kennen. In wetenschappelijke kringen hanteert men een probabilistische invalshoek, terwijl de deterministische traditie vertegenwoordigd wordt door de wereld van de arbeidsomstandigheden en de hulpverlenings- en rampenbestrijdingsorganisaties. [Vrijling & Stoop, januari 1998]

Bij een probabilistische benadering worden alle potentiële risico's, bijvoorbeeld met een risico-analyse, geïdentificeerd. Sturing van veiligheid vindt plaats op basis van beheersing van risico's, waarin de kans en het gevolg zijn opgenomen. Het risico van een calamiteit met een kleine kans en grote gevolgen is volgens de probabilistische benadering vanaf een bepaald niveau aanvaardbaar en vergelijkbaar met het risico van een calamiteit met een grote kans en kleine gevolgen. De probabilistische benadering is echter niet altijd verhelderend voor alle betrokkenen en houdt weinig rekening met de maatschappelijke perceptie. [Wessels, februari 1998]

Bij de deterministische benadering ligt de nadruk op het gevolg van een potentiële calamiteit en dienen beheersingsmaatregelen voor dit gevolg toegepast te worden. Immers, indien de brandweer in actie moet komen is de kans op brand vaak nagenoeg gelijk aan 1 en is dus alleen het gevolg nog interessant.

3.2.2 Veiligheidsketen

Iedere activiteit moet aan een zeker veiligheidsniveau voldoen. Dit veiligheidsniveau kan bereikt worden door het nemen van risico-reducerende maatregelen. Deze maatregelen kunnen betrekking hebben op de bron van een calamiteit, maar ook op de gevolgen van een calamiteit. De verschillende maatregelen kunnen geïdentificeerd worden volgens een model dat in Nederland bekend staat als de veiligheidsketen. De veiligheidsketen bestaat uit een vijftal schakels, namelijk: pro-actie, preventie, preparatie, repressie en nazorg. Dit model wordt onder andere gehanteerd door het Ministerie van Binnenlandse Zaken in integrale veiligheidsrapportages en is als volgt ingedeeld: [BiZa, 1997]

1. Pro-actie: Het wegnemen van structurele oorzaken van onveiligheid.
2. Preventie: De zorg voor het voorkomen van directe oorzaken van onveiligheid en het zoveel mogelijk beperken van de gevolgen van inbreuken op de veiligheid, indien die zouden optreden.
3. Preparatie: De daadwerkelijke voorbereiding op de te nemen acties bij eventuele ongewenste situaties.
4. Repressie: De daadwerkelijke bestrijding en de verlening van hulp in ongewenste situaties.
5. Nazorg: Hetgeen dat nodig is om zo snel mogelijk weer terug te keren in de 'normale' verhoudingen.

De risicoreducerende maatregelen, die gestructureerd zijn in de verschillende schakels van de veiligheidsketen komen voort uit een aantal aandachtsgebieden, zoals planologie, bouwkunde, installatietechniek, inventaris, interne organisatie en gebruik en inzet van hulpverlenende diensten.

3.2.3 Belanghebbenden

In dit hoofdstuk is al eerder naar voren gekomen dat veiligheid een subjectiviteit met zich meedraagt. Hieraan ligt onder andere ten grondslag het groot aantal verschillende betrokkenen met uiteenlopende belangen, de belanghebbenden. Om een uitgebalanceerd project te kunnen vormgeven is een analyse van de verschillende belanghebbenden noodzakelijk.

Belanghebbenden zijn alle betrokken partijen met een belang in het project die ook enige invloed of macht hebben om dat belang te kunnen bereiken. De verschillende belanghebbenden kunnen in meer of mindere mate samenwerken om tot een optimaal eindresultaat te komen. Een samenwerking, waarbij iedere belanghebbende zijn eigen belang vooropstelt, is weer te geven met een 'partijenmodel'. Een optimale samenwerking van de verschillende belanghebbenden naar een gemeenschappelijk doel wordt weergegeven met een 'systeemmodel'.

Het is belangrijk om op te merken dat gecontracteerde aannemers ook een belang hebben. Zij zijn gecontracteerd om het project te realiseren en proberen dit binnen een minimale prijs te realiseren. Een voorbeeld is het ontwerp bureau van de Noord/Zuid lijn dat een optimaal ontwerp moet maken dat aan alle eisen voldoet, maar dat zelf ook financiële belangen heeft. Een complex en ingewikkeld ontwerp biedt voor hen veel voordelen door de hogere engineeringkosten.

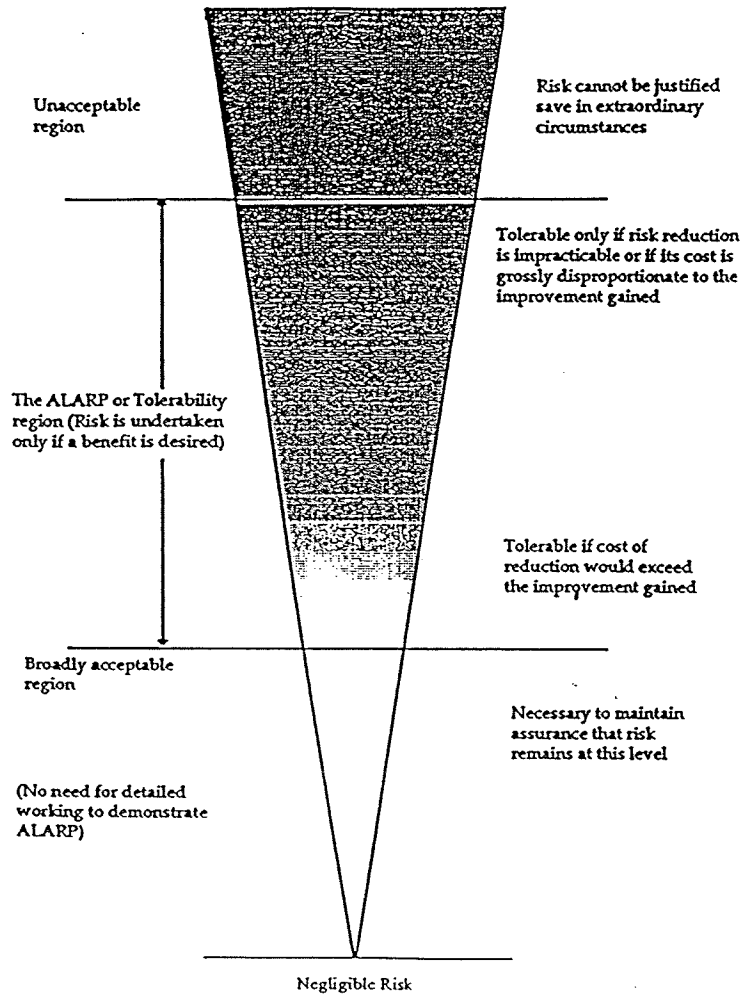
Een optimaal veilig ontwerp vereist dus een goede belanghebbenden-analyse, waardoor de verschillende toetscriteria in een vroeg stadium expliciet worden. Dit voorkomt dat in een latere fase in het proces allerlei aanvullende eisen gesteld gaan worden, die onnodige problemen met zich meebrengen. Daarnaast vormt een goede belanghebbenden-analyse een uitstekende basis om voor alle partijen de meest optimale oplossing te vinden, waardoor het meest ideale ontwerp tot stand komt.

3.2.4 ALARA-principe

ALARA staat voor "As Low As Reasonable Achievable". Dit principe wordt vaak gehanteerd bij het ontwikkelen van veiligheidsmaatregelen. Risico's dienen zo laag te zijn als redelijkerwijs praktisch haalbaar is. Dit wil zeggen dat de effectiviteit van maatregelen wordt afgewogen tegen de kosten. Ook maakbaarheid, realiseerbaarheid en 'common practice' spelen een rol bij de afweging.

Wanneer de veiligheidsdoelstellingen gehaald zijn blijft het ALARA-principe gelden. Eenvoudig of goedkoop uit te voeren maatregelen met een positief effect op de veiligheid mogen niet nagelaten worden. [Railned, november 1997]

In aansluiting op het ALARA-principe heeft het UK Health and Safety Executive (HSE) een schema ontwikkeld met drie risiconiveaus. Een risiconiveau waarboven het risico onacceptabel is en waarbeneden het risico geoptimaliseerd kan worden volgens het ALARA-principe. Daarbeneden ligt een niveau die het absolute acceptabele risico aangeeft (zie figuur 3.1).



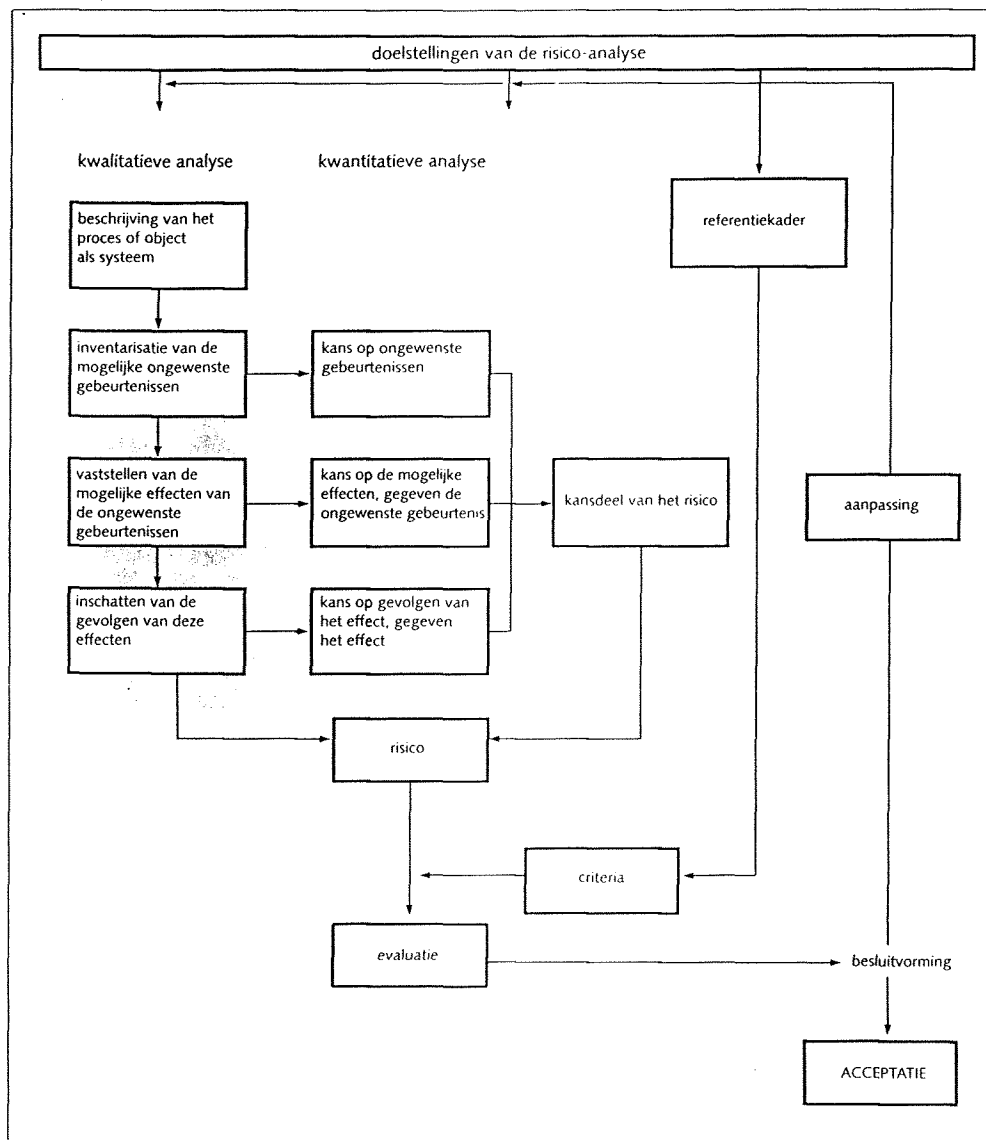
Figuur 3.1: The ALARA Triangle

N.B.: De term ALARP staat voor "As Low As Reasonable Practicable" en is vergelijkbaar met ALARA.

3.2.5 Risico-analyse

Het uitvoeren van een risico-analyse is een probabilistische techniek waarmee alle potentiële gevaren systematisch worden geanalyseerd. Bij het uitvoeren van een risico-analyse kan een tweetal stappen worden onderscheiden, de kwalitatieve risico-analyse en de kwantitatieve risico-analyse. Een kwalitatieve risico-analyse bestaat uit een analyse van de functies en onderdelen van het systeem, de inventarisatie van bedreigingen, faalmechanismen, gevolgen en het vastleggen van de onderlinge samenhang.

In de kwantitatieve risico-analyse worden de faalkansen berekend, de gevolgen gekwantificeerd en de risico's berekend. Het resultaat wordt beoordeeld door toetsing aan normen en/of uitgangspunten (zie figuur 3.2). [CUR 190, maart 1997]



Figuur 3.2: Structuurschema risico-analyse [CUR 190, maart 1997]

Een kwantitatieve risico-analyse voor deelsystemen van het vervoerssysteem HSL-Zuid kan, op basis van bovenstaand figuur, zijn opgedeeld in de volgende stappen: [TNO MEP, juli 1997]

- Beschrijving van (het deelsysteem van) het vervoerssysteem HSL-Zuid en de omgeving.
- Identificatie van mogelijke ongevallen (ongewenste voorvallen) die van invloed zijn op alle onderscheiden risicodragers.
- Beschrijving van de ontwikkeling van de ongevallen en hun invloed op de risicodragers in de vorm van ongevalsscenario's.

- Schatting van de frequentie van de ongevalsscenario's en de vervolgcansen voor de verschillende mogelijke ongevalsontwikkelingen.
- Berekening van de fysische effecten van de verschillende ongevalsscenario's.
- Berekening van het aantal overlijdensgevallen door blootstelling aan de verschillende fysische effecten. Voor de hulpverlening kunnen hierbij ook gewonden berekend worden.
- Presentatie van het berekende risico, bijvoorbeeld in de vorm van het persoonlijk risico en de karakteristieke waarde.
- Bepaling maatgevende risico's, voorstellen tot evaluatie van risico-reducerende maatregelen en verbetering van hulpverlening voor de scenario's met maatgevende risico's.
- Een eventuele herhaling voor de te evalueren risico-reducerende maatregelen.

3.3 Menselijk gedrag bij calamiteiten

Veiligheid wordt niet alleen beïnvloed door de hoeveelheid technische voorzieningen en maatregelen die genomen zijn, maar wordt ook in sterke mate bepaald door het gedrag van mensen tijdens het optreden van calamiteiten. Een tijdige herkenning van een incident, het nemen van de juiste acties en het mogelijk ontstaan van chaos zijn voorbeelden van menselijke factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van een calamiteit. Een te groot aantal voorzieningen in een constructie is geen garantie voor een hoger veiligheidsniveau. De effectiviteit van de voorzieningen daalt en kan zelfs negatief worden als een te grote aanspraak gedaan wordt op de menselijke informatieverwerkingscapaciteiten. De totale faalkans kan hierdoor zelfs toenemen. [Griffioen, december 1995]

In bijlage B.1 van deelrapport III worden enkele statische gegevens van een brand gepresenteerd. Het gaat om 575 branden in verschillende gebouwen, waargenomen door 578 geïnterviewde mensen. [Griffioen, december 1995] In bijlage B.1 wordt tevens enige aandacht geschonken aan de brand in het metrostation King's Cross in Londen. Dit voorbeeld laat zien dat de veiligheid van grote groepen mensen in ondergrondse ruimtes sterk beïnvloed kan worden door "human factors". Belangrijke aandachtspunten zijn dan ook: Het aanzetten van mensen tot het juiste gedrag, het maximaliseren van de zelfredzaamheid en een goede informatievoorziening. Goede informatie en communicatie blijken essentieel.

Bijlage B.2 van deelrapport III geeft enige casuïstiek van branden in Nederlands treinmaterieel in de periode 1981-1995.

3.4 Integraal afwegen & veiligheid

Het gebruik van een integrale afwegingsmethodiek kan nuttig zijn als ondersteuning voor beslissers in besluitvormingsprocessen. Het is belangrijk dat alle relevante aspecten meegenomen worden in de afweging en dat geen enkel alternatief in een vroeg stadium, op basis van onvoldoende argumentatie, wordt geschrapt. Een probleem zal vanaf de start integraal benaderd moeten worden om uiteindelijk een onderbouwde en optimale keuze te kunnen maken. [Ondergrondse Overwegen, december 1993]

Bij een integrale afweging is het nuttig om een goed onderscheid te maken tussen de primaire aspecten die van belang zijn, de effecten van de voorgenumen ingreep en de criteria die gehanteerd worden om de effecten te kwantificeren. Een checklist die gebruikt kan worden bij een integrale afweging tussen bijvoorbeeld boven- en ondergrondse alternatieven, is opgenomen in het eindrapport van de stuurgroep Ondergrondse Vervoers-Infrastructuur. [Ondergrondse Overwegen, december 1993]

Veiligheid, zowel intern als extern, is één van de aspecten die van belang zijn in de integrale afweging. Een effectief en betrouwbaar toetsingscriterium om de verschillende aspecten te kunnen kwantificeren is noodzakelijk om een gefundeerde afweging te kunnen maken. Daarnaast zijn ook de grenzen van ieder aspect relevant om de beslissingsruimte te kunnen afbakenen.

4 Veiligheid bij de Hogesnelheidslijn-Zuid

In dit hoofdstuk wordt de stand van zaken omtrent het ontwerp van de HSL-Zuid weergegeven, specifiek wat betreft veiligheid. In de eerste paragraaf wordt het project kort toegelicht, waarna in de tweede paragraaf de ontwikkelde veiligheidsfilosofie wordt toegelicht. In opdracht van de Projectdirectie HSL-Zuid is een Integraal VeiligheidsPlan (IVP) ontwikkeld, door de Bouwdienst Rijkswaterstaat in samenwerking met Railned-Spoorwegveiligheid, NS Railinfrabeheer en Simtech. [PHZ, september 1997]

4.1 Projectomschrijving HSL-Zuid

De Nederlandse regering vindt dat Nederland aangesloten moet worden op het Europese net van hogesnelheidstreinen. In mei 1994 heeft het kabinet gekozen voor een nieuwe lijn tussen Amsterdam en de Belgische grens. Amsterdam, Luchthaven Schiphol en Rotterdam worden met een hogesnelheidsverbinding verbonden met Brussel, Londen en Parijs. [PHZI, november 1996]

Functie van de HSL-Zuid

De HSL-Zuid sluit Nederland aan op het Europese hogesnelheidsnet. Met dit Europese hogesnelheidsnet wordt een belangrijk deel van de groei van de mobiliteit in Europa opgevangen. Het vervoer per hogesnelheidstrein is milieuvriendelijker dan het reizen per vliegtuig of auto. De hogesnelheidstrein moet dan wel een aantrekkelijk alternatief zijn. Dit betekent een concurrerende prijs, een aantrekkelijke reistijd en voldoende kwaliteit van het vervoer. Het gekozen tracé is het kortst en heeft de grootste maximale snelheden, waardoor de hogesnelheidstrein op afstanden van 1000 kilometer een milieuvriendelijk alternatief wordt voor het auto- en vliegverkeer. [PHZI, november 1996]

Projectorganisatie HSL-Zuid

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 tot 1 mei 1998 samen de projectorganisatie HSL-Zuid Infra. Vanaf 1 mei 1998 gaat de organisatie over in een uitvoeringsorganisatie. [PHZI, november 1996]

Tracé HSL-Zuid

Het kabinet heeft gekozen voor aanleg van de nieuwe lijn via het zogenaamde A1 (Amsterdam - Rotterdam) en FnFZw (Rotterdam - Belgische grens) - tracé. De kosten van deze nieuwe lijn bedragen 7,5 miljard Nederlandse gulden. De halteplaatsen van de hogesnelheidslijn bij de nieuwe lijn in Nederland zijn Amsterdam, Schiphol en Rotterdam. De reizigers van en naar Den Haag kunnen overstappen in Rotterdam. Op sommige tijdstippen worden hogesnelheidstreinen in Rotterdam gesplitst: één treinstel gaat naar Den Haag, het andere gaat naar Schiphol - Amsterdam. Door de hogesnelheidstrein op Schiphol aan te sluiten kunnen vliegtuigreizigers overstappen op de trein of het vliegtuig. Of de hogesnelheidstrein in de toekomst ook elders zal stoppen hangt af van het aantal reizigers. Voor een overzicht van het tracé zie de bijlage C.1 en voor de planning zie de bijlage C.2 van deelrapport III.

4.2 Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, fase 1

Het Integraal VeiligheidsPlan is ontwikkeld om gedurende het ontwerpproces van het HSL-systeem sturing te geven aan het aspect veiligheid en om gemaakte (veiligheids)beslissingen te kunnen verantwoorden. Een veiligheidsfilosofie is vaak impliciet aanwezig maar dient expliciet gemaakt te worden om volgens een verantwoorde, consistente en integrale methode sturing te geven aan het ontwerp.

[PHZ, september 1997]

4.2.1 Achtergronden

In het Integrale VeiligheidsPlan wordt voor het begrip risico de volgende definitie gehanteerd, risico = kans x gevolg. De subjectiviteit van het begrip veiligheid krijgt aandacht en tevens het groot aantal factoren dat van invloed is op de acceptatie van een risico. De veiligheidsnormen beperken zich tot het gevolg "overlijden", waardoor gebruik gemaakt kan worden van de overlijdensstatistieken.

Het ontwerp van de veiligheid gebeurt op basis van een aantal basisprincipes:

- **Evenredigheidsbeginsel en profijtbeginsel:** De verwachte negatieve effecten/risico's moeten in redelijke verhouding staan tot de verwachte voordelen van de activiteit.
- **Doelmatigheidsbeginsel:** De beschikbare middelen voor veiligheidsverbetering moeten daar worden besteed waar per geïnvesteerde gulden de grootste verbetering wordt bereikt.
- **Optimalisatiebeginsel:** Wanneer het mogelijk is zonder bovenmatige inspanning risico's te verkleinen dan wordt dit gedaan.
- **Gelijkheidsbeginsel:** Verdellende rechtvaardigheid: geen ongemotiveerde risicoverschillen

4.2.2 Veiligheidsfilosofie

Met de veiligheidsfilosofie wordt een kader geschapen van waaruit veiligheid kan worden beoordeeld en waarmee besluiten over veiligheid kunnen worden onderbouwd.

Doel & missiestatement

De veiligheidsfilosofie heeft ten doel een kader te scheppen waarbinnen veiligheidsvragen ten aanzien van de HSL-Zuid beantwoord kunnen worden. Enerzijds vormt de filosofie hiermee de basis voor externe communicatie en discussies over de beoordeling en acceptatie van de risico's. Anderzijds kunnen interne veiligheidsbeslissingen worden onderbouwd en kan vanuit veiligheid sturing aan het ontwerp gegeven worden.

Om niet alleen een veilig vervoerssysteem te ontwerpen maar ook in een vroeg stadium in het proces de veiligheid te kunnen beïnvloeden is een vooruitstrevend missiestatement gedefinieerd:

De projectorganisatie HSL-Zuid wil sturing geven aan de integrale veiligheid van het ontwerp van het vervoersproject, waarbij ook de impliciet aanwezige veiligheid expliciet, toetsbaar en stuurbaar wordt gemaakt. Dit vereist een innovatieve benadering.

De bouw van een nieuw vervoerssysteem is een aanleiding om conceptuele verbeteringen aan te brengen in plaats van een incrementele opscholing en verbetering. In de veiligheidsfilosofie wordt gewaarschuwd voor nieuw geïntroduceerde gevaren, met name in relatie tot menselijk handelen.

Uitgangspunten veiligheidsfilosofie:

- Het streven is een veiligheidsniveau dat minimaal gelijk en zo mogelijk hoger is dan dat van overige vervoersmodaliteiten.
- De veiligheidsfilosofie wordt opgesteld voor het gehele HSL-Zuid vervoerssysteem, inclusief infrastructuur, materieel, mens, procedures, beveiliging etc.
- De veiligheid van de mens staat primair.

- Aansluiten op de (inter)nationale normen, wet- en regelgeving, verdragen en reeds genomen besluiten. De afwijkende visies van de omliggende landen bepalen het veld waarbinnen met veiligheid kan worden geoptimaliseerd.
- Rekening houden met het PKB deel 4 dd. 1 juli 1997 en later te nemen besluiten.
- Streven naar aansluiting op het gebied van veiligheid met het tracédeel in België tot Antwerpen.
- Vervoersprognoses volgens het Programma van Eisen HSL-Zuid.

Criteria:

De veiligheidsfilosofie HSL-Zuid moet aan de volgende criteria voldoen:

- Aansluiten op de individuele en maatschappelijke beleving.
- Maatschappelijk en politiek draagvlak hebben.
- Financieel en economisch haalbaar zijn.
- Aansluiten bij de gekozen ontwerpmethodiek.
- Toepasbaar voor het gehele traject.
- In- en extern consistent zijn.
- Helder, uitlegbaar, tijdig maakbaar en bruikbaar te zijn.

Beoordelen van risico's:

Voor het beoordelen van risico's voor de HSL-Zuid worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Integrale veiligheidsbenadering van het gehele vervoerssysteem.
- Aantoonbaar veiligheidsniveau voor alle betrokkenen en belanghebbenden, bij voorkeur door objectieve (kwantitatieve), vooraf gedefinieerde, methoden.
- Plaatsing van het gewenste veiligheidsniveau binnen de context van de overige vervoersmodaliteiten.
- Streven naar een veiligheidsniveau dat minimaal gelijk is aan dat van vergelijkbare vervoersmodaliteiten of activiteiten.
- Het gewenste veiligheidsniveau uitdrukken in normen of richt/streefwaarden.
- In principe dient te worden voldaan aan de voorafgestelde veiligheidsnormen, waarbij de haalbaarheid van de normen continu geëvalueerd moet worden tijdens het ontwerpproces.
- Periodieke toetsing van de veiligheidsfilosofie, de uitgangspunten en de randvoorwaarden.

Risicodragers:

In het Integraal VeiligheidsPlan van de HSL-Zuid wordt een aantal risicodragers onderscheiden.

- Reizigers: Personen die zich in of in de nabijheid van een trein bevinden, met het doel om met deze trein te reizen.
- Personeel: Personeel houdt zich beroepshalve bezig met het HSL-systeem en is onder te verdelen in personeel langs de baan, personeel in de trein en hulpverleners.
- Omwonenden: Diegene die in de nabijheid van het HSL-systeem wonen, het HSL-systeem niet vrijwillig ondergaan en geen voordeel ondervinden van het HSL-systeem.
- Passanten: Mensen (geen reizigers of personeel) die zich om één of andere reden (behalve suicide) bij of op het spoor bevinden.
- Overigen: Personen die zich in de omgeving van het HSL-systeem bevinden en niet in een eerder beschreven groep vallen, o.a. vandalen en saboteurs.
- Suïcidalen: Een afwijkende groep risicodragers, die zich vrijwillig in een potentieel dodelijke situatie brengt.

Risicomaten:

Voor de veiligheid van de mens worden twee risicomaten onderscheiden, het persoonlijke acceptabele risiconiveau en het maatschappelijk acceptabele risiconiveau. Het persoonlijke risico is gedefinieerd als de overlijdenskans per persoon per jaar, uitgaande van 200 reizen per persoon per jaar.

De maatschappelijke afweging van het risico vindt voornamelijk plaats op grond van het jaarlijks aantal slachtoffers ten gevolge van een activiteit. Gezien het geringe onderscheidende vermogen en de schaarsheid aan data is gekozen voor vaststelling van een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau over alle groepen risicodragers heen, uitgezonderd de groep suïcidalen.

De voorkeur wordt gegeven aan een een-dimensionale maat, omdat de twee-dimensionale F-N-curves de indruk wekken van een grote betrouwbaarheid en lastig te hanteren zijn voor het vergelijken van alternatieven en sturing in het ontwerp. Het begrip 'Karakteristieke Waarde' wordt gebruikt als maat voor het jaarlijks aantal slachtoffers dat 'zo goed als zeker' niet zal worden overschreden, inclusief grote ongevallen. De Karakteristieke Waarde gebruikt slechts bepaalde informatie van een verdeling, het is de som van de verwachtingswaarde en drie maal de standaardafwijking. De gehanteerde criteria worden weergegeven in figuur 4.1.

Risicodrager		Acceptabel risiconiveau		
		Persoonlijk [overlijdenskans/persoon/jaar]	Maatschappelijk [doden/HSL-systeem/jaar]	
			Gemiddeld	Karakteristieke Waarde
Reiziger	$4 \cdot 10^{-6}$	0,23	2,3	
Personeel	trein / langs baan			$5 \cdot 10^{-5}$
	Hulpverleners			ALARA
Omwonenden	$1 \cdot 10^{-6}$			
Passanten	$1 \cdot 10^{-6}$			
Overigen	$1 \cdot 10^{-6}$			
Suïcidalen	-	4	5	

Figuur 4.1: Risicocriteria HSL-Zuid

Beslissen over veiligheid:

Voor het nemen van beslissingen over veiligheid en sturing van veiligheid binnen het ontwerpproces worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

1. Het ontwerp is vooral gericht op het voorkomen van ongevallen/ calamiteiten, en aansluitend daarop op het beperken van de gevolgen van een ongeval/ calamiteit. Primair wordt gestreefd naar een intrinsiek veilig ontwerp, secundair worden veiligheidstaken uitgevoerd door veilige systemen en tertiair kunnen procedures en back-up door mensen worden gebruikt voor verhoging van de veiligheid.
2. Het ALARA-principe dient te worden toegepast. De ligging van het omslagpunt is arbitrair en onderwerp van een politieke en maatschappelijke discussie.
3. Sturing in het ontwerp vanuit veiligheid door het expliciet maken van risico's en het toewijzen van risico's aan verantwoordelijke partijen of ontwerpclusters.
4. Streven naar een maximaal veiligheidsniveau voor het vervoerssysteem HSL-Zuid, waardoor gestreefd wordt naar een efficiënte besteding van de beschikbare 'veiligheids-guldens'.

5. Streven naar een evenwichtige verdeling van veiligheid over de delen van het vervoerssysteem.
6. Decompositie van het vervoerssysteem HSL-Zuid zal moeten geschieden in aansluiting op de ontwerppraktijk.
7. Primair wordt gestuurd op de hoeveelheid dodelijke slachtoffers en de kans daarop, maar daarnaast zal ook rekening gehouden moeten worden met gewonden. De mogelijkheden voor zelfredzaamheid en een adequate hulpverlening bij ernstige ongevallen spelen hierbij een grote rol.

4.2.3 Instrumentarium

Het instrumentarium geeft een model voor daadwerkelijke toetsing en sturing van veiligheid. Het instrumentarium sluit aan op de uitgangspunten, zoals die in de voorgaande paragraaf zijn geformuleerd voor het sturen op en beslissen over veiligheid. Om aan deze uitgangspunten te kunnen voldoen moet het instrumentarium informatie bevatten over de volgende aspecten (zie figuur 4.2):

- Veiligheid van het gehele vervoerssysteem
- Veiligheid per systeemdeel
- Frequentie van ongevallen
- Risico-reductie en kosten van maatregelen

Voor een overzicht van ongevallen in het conventionele Nederlandse spoor, zie bijlage C.3 van deelrapport III.

Aspect	Minimale benodigde informatie
Veiligheid geheel	KW: aantal doden per jaar PR: overlijdenskans per jaar per risicodrager
Veiligheid delen	Opdeling in systeemdelen volgens de ontwerppraktijk PR en KW per systeemdeel
Ongevallen	Mogelijke ongevallen Ongevalsfrequentie per type ongeval per systeemdeel Omvang (mensen, schade) per type ongeval per systeemdeel
Maatregelen	Mogelijke maatregelen per ontwerpdeel per ongevalstype Reductie van ongevalsfrequentie en schade-omvang Reductie van PR en KW Kosten

Figuur 4.2: Minimaal benodigde informatie voor beoordeling en sturing

Opsplitsen

Het opsplitsen van het HSL vervoerssysteem is noodzakelijk om inzichtelijk te maken waar en wanneer veiligheid in het ontwerp kan worden beïnvloed. Een splitsing naar ontwerpclusters (infrastructuur, beveiliging, treinmaterieel etc.) is niet zinvol door de grote interactie tussen de ontwerpclusters. Gekozen is voor een opdeling naar baanconcepten zoals aarden baan, verhoogde ligging, tunnel, brug, station etc. Aan de hand van het evenredigheids criterium kunnen eisen aan maximale faalkansen voor de verschillende baanconcepten en bijbehorende clusters worden afgeleid (zie figuur 4.3). De integratie komt voort uit de onderlinge afstemming tussen de verschillende clusters en deze afstemming is daardoor zeer cruciaal.

Traject	Begin km	Eind km	Concept	Beschrijving
A1	0	.2	Station	Rotterdam CS
A1	.2	3.0	Aardebaan	Nieuw stedelijk gebied
A1	3.0	6.8	Tunnel	Nieuw stedelijk gebied
A1	6.8	11.3	Halfdiepe bak	Noordrand II/III
A1	11.3	17.2	Brug	Glastuingebied Bleiswijk
A1	17.2	22.0	Aardebaan	Hazerswoude - Rijksweg 12
A1	22.0	30.0	Tunnel	Boortunnel Groene Hart
A1	30.0	34.0	Brug	Rijnstreek Noord
A1	34.0	37.2	Aardebaan	Rijnstreek Noord
A1	37.2	38.5	Tunnel	Rijnstreek Noord
A1	38.5	48.0	Aardebaan	Haarlemmermeer

Figuur 4.3: Opdeling in baanconcepten ten noorden van Rotterdam

Een opsplitsing in een aantal typen ongevallen is noodzakelijk om te kunnen sturen op het voorkomen van ongevallen. Deze opsplitsing maakt het mogelijk om reeds genomen maatregelen per ongevalstype te identificeren en aanvullende risico-reducerende maatregelen te genereren.

De onderscheiden ongevalstypen zijn:

- Botsing tussen railvoertuigen onderling
- Ontsporing
- Aanrijding
- Materieelbrand
- Brand overig
- Explosie
- Persoonlijke ongevallen
 - vallen uit rijdende trein
 - elektrocutie
 - gevaarlijke stoffen
- Combinatie voorvallen
 - ontsporing na botsing
 - ontsporing na aanrijding
 - brand na botsing
 - brand na ontsporing
 - brand na explosie
- Ongevallen met externe oorzaak

Op basis van bovenstaande onderverdelingen worden drie matrices gegenereerd, waarmee de veiligheid van het project gekwantificeerd en beheerst kan worden. Met de eerste matrix kan de Karakteristieke Waarde berekend worden en kunnen de frequenties van de ongevallen bepaald worden. Met de tweede

matrix kan het persoonlijk risico berekend en beoordeeld worden en kan gestuurd worden op verdeling van de veiligheid over de verschillende baanconcepten. Met de derde matrix kan tenslotte gestuurd worden op nutsmaximalisatie, ALARA-principe en verbetering van zelfredzaamheid en hulpverlening (zie figuur 4.4a t/m c).

Ongevallen		Baandelen					
Type	Aantal doden						
Brand	1						
	2-10						
	11-100		Ongevalsefrequenties waarbij 'x' aantal doden vallen				
Ontsporing	1						
	2-10						
	11-100						
...	1						
	2-10						
	11-100						

Figuur 4.4a: Matrix 1, baanconcepten en ongevalstypen

Risicodragers	Baandelen						Totaal
Reizigers							
Treinpersoneel							
Baanpersoneel							
...			verwachtingswaarde aantal doden/jaar				
...							
..							
..							
Totaal							

Figuur 4.4b: Matrix 2, baanconcepten en risicodragers

Per baandeel, per ongevalstype				
Maatregel	Risico-reductie			Kosten
	Ongevalsefrequentie	P_{gevolg}	Gevolg	

Figuur 4.4c: Matrix 3, maatregelen per baanconcept en ongevalstype

4.2.4 Besturingsfilosofie

De besturingsfilosofie integreert de besluitvorming over veiligheid in de huidige ontwerppraktijk van de verschillende betrokken partijen. Het Integraal VeiligheidsPlan noemt als doel voor de sturing op veiligheid om te komen tot een rationele afweging tussen veiligheid en geld.

De besturingsfilosofie moet voldoen aan de volgende uitgangspunten:

- voldoen aan toepisen voor veiligheid
- de veiligheid gericht beïnvloeden
- aansluiten bij de huidige ontwerppraktijk
- objectieve sturing in relatie tot de veiligheidsbudgetten
- draagvlak vormen voor de gekozen aanpak

De ontwerppraktijk van de HSL-Zuid kent een groot aantal betrokken partijen (belanghebbenden), zoals opgenomen in onderstaande tabel (zie figuur 4.5).

Taak	Functie	Organisatie
Besturing	Opdrachtgever HSL-Zuid	V&W, Projectdirectie HSL-Zuid
	Technische coördinatie	Railned Spoorwegveiligheid
	Coördinatie landelijk beleid	DGP/HSL-Zuid + DVV
	Scenario studies / hulpverlening	BiZa / Projectgroep HSL en veiligheid
Ontwerp	Infrastructuur	NS-RIB, Projectdirectie HSL-Zuid Infra (PHZI)
	Vervoersproces	NS-reizigers / HST-VEM
	Technische systemen	NS-RIB, technische systemen
	Treinmaterieel	NS-materieel Engineering
	Procedures/calamiteitenorganisatie	NS-verkeersleiding
	Onderhoud infra	NS-infraservices
	Capaciteit	Railned capaciteitsmanagement
	Goederenvervoer	NS-cargo
	Hulpverlening	Brandweer

Figuur 4.5: Taken, functies en partijen

Beheersing & veiligheidsboekhouding

Het Integraal VeiligheidsPlan onderscheidt voor de beheersing van de veiligheid twee stuurmechanismen, de sturing van de input of van de output van het ontwerpproces. Door inputsturing wordt in een vroeg-tijdig stadium geanticipeerd op mogelijke faalbronnen in het proces. Cultuurverschillen tussen de verschillende betrokken organisaties kunnen bijvoorbeeld met een *veiligheidsconvenant* worden beheerst. De mate van beschikbare ontwerpersvrijheid kan met een *veiligheidscontract* worden vormgegeven, door duidelijke veiligheidseisen te formuleren en een "veiligheidsbudget" (in termen van Persoonlijk Risico) beschikbaar te stellen.

Outputsturing vindt plaats door een beoordeling van het opgeleverde ontwerp en de gemaakte ontwerpkeuzes door de opdrachtgever, met behulp van externe deskundigen.

Naast het managen van veiligheid is ook een zorgvuldige boekhouding van de verschillende veiligheidsmatrices van belang. Deze boekhouding dient dynamisch te zijn en de dimensies van de resultaten van de risico-analyses dienen overeen te komen met de dimensies in de matrices.

4.3 Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, fase 2

In de tweede fase van het Integraal VeiligheidsPlan dient de ontwikkelde veiligheidsfilosofie en het bijbehorende besturingsmodel geïmplementeerd te worden in de organisatie van de HSL-Zuid. De volgende fasen worden onderscheiden:

- fase 2: Uitvoering
 - a. Inrichting van de veiligheidsorganisatie
 - b. Ondersteuning bij bestuurlijke besluitvorming
 - c. Toepassing van het instrumentarium
- fase 3: Oplevering van het hogesnelheidssysteem
- fase 4: Periodieke veiligheidstoets in de gebruiksfase

De tweede fase van het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid is eind 1997 gestart met het inrichten van een **Managementteam Veiligheid**. De situatie nu (januari 1998) is dat een toedeling van de normen naar de verschillende subsystemen niet zal plaatsvinden, hoogstens op aanvraag van de verschillende betrokkenen. Na afloop van het ontwerpproces zal een veiligheidsaudit over het gehele systeem worden uitgevoerd, afhankelijk waarvan eventuele aanpassingen voorgesteld of opgelegd worden.

Toedeling risicobudget naar tunnels:

In navolging van het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid is gestart met een toedeling van het totale risicobudget naar specifieke normen voor tunnels. Bij deze toedeling gelden de volgende overwegingen:

- In de tunnel vormt brandveiligheid een groter probleem dan op overige tracédelen. Botsing, ontsporing en aanrijding vormen een kleiner probleem (bij twee tunnelbuizen met een enkel spoor).
- In de tunnel zijn de kosten per eenheid van veiligheid groter dan op overige tracédelen, wat pleit voor een ruimer risicobudget, dan resulteert uit toedeling naar evenredigheid van lengte.
- Voor de publieke perceptie wegen tunnels relatief zwaar, wat pleit voor een krapper risicobudget dan wat resulteert uit toedeling naar evenredigheid van lengte.
- Het afbreukrisico voor tunnels is groter dan bij overige tracédelen. Een mogelijke toekomstige aanpassing in de constructie of de voorzieningen is relatief duur.
- Het beginsel 'het is overal even veilig' is aan de omgeving eenvoudig uit te leggen.

Bovenstaande overwegingen leiden tot het uitgangspunt dat **het risicobudget voor tunnels verdeeld moet worden naar evenredigheid van lengte**. [Houben, januari 1998]

5 Veiligheid infrastructurele projecten

Dit hoofdstuk bevat een korte beschrijving van de hoofdlijnen van de geanalyseerde infrastructurele projecten. In deelrapport III zijn de gedetailleerde analyses van de veiligheid bij deze projecten opgenomen. Van deze projecten is de integratie van het aspect veiligheid in het ontwerpproces geanalyseerd. Het uiteindelijk resultaat dient als basis voor een toetsing van het Integraal Veiligheids Plan voor de HSL-Zuid. Een veiligheidsanalyse is gemaakt van de Willemspoortunnel in Rotterdam, de Westerschelde Oeververbinding, de Störebelttunnel in Denemarken, de Kanaaltunnel en de Channel Tunnel Rail Link in Engeland. In dit hoofdstuk is van de verschillende analyses kort een projectbeschrijving, de achterliggende veiligheidsfilosofie en het type veiligheidsmaatregelen weergegeven.

5.1 Willemspoortunnel

Vanaf april 1987 is 9 jaar gebouwd aan de nieuwe spoorverbinding van het Centraal Station in Rotterdam in zuidelijke richting. Het totale project heeft een lengte van 3.164 meter en bestaat uit een aaneenschakeling van hellende en horizontaal en/of verticaal gebogen gedeelten. [Stiksma, 1992]

De tunnel heeft vier sporen en is uitwendig gemiddeld 28 meter breed en 8,60 meter hoog. De sporen zijn onderling gescheiden door betonnen tussenwanden. De buitenste kokers zijn inwendig iets ruimer geconstrueerd waardoor deze ook geschikt zijn voor goederentreinen. De binnenste kokers zijn uitsluitend voor reizigerstreinen. In het tracé op de rechter Maasoever is een ondergronds station opgenomen; Station Blaak. In aansluiting op het bestaande metrostation Blaak is een ondergronds spoorstation geconstrueerd. Een gecombineerd station is ontstaan met bovengronds de tram en ondergronds de metro en de trein.

Veiligheidsfilosofie

Voor de veiligheidsbenadering bij de bouw van de Willemspoortunnel is door de NS in 1981 een aantal uitgangspunten geformuleerd. Het veiligheidsniveau van de tunnel moet vergelijkbaar zijn met vliegverkeer en moet alle functies van het bestaande spoor overnemen, inclusief het vervoer van gevaarlijke stoffen. Naar aanleiding van een kwalitatieve analyse van TNO is genoeg genomen met de constatering dat de tunnel veiliger is ten opzichte van de bestaande situatie. Deze constatering vond plaats op basis van een kwalitatieve analyse, waarbij de verschillende risico's gering geacht zijn, zonder enige mate van kwantificering. [TNO, oktober 1982]

In het "Veiligheidsplan Spoortunnel Rotterdam" zijn de hoofdlijnen van de veiligheidsfilosofie gepresenteerd aan de bevolking. De hoofdlijnen gepresenteerd door de Nederlandse Spoorwegen zijn als volgt: [NS, november 1993]

- De spoortunnel is voorzien van vele bouwkundige voorzieningen en technische installaties die de kans op een incident bijzonder klein maken.
- De spoortunnel wordt continue bewaakt.
- Voor de bestrijding van incidenten zijn zeven bestrijdingsscenario's ontwikkeld.
- Bij een incident vinden gecoördineerde bestrijdingsacties plaats onder leiding van de brandweer.
- Bij invloed van een incident op de omgeving verstrekt de brandweer richtlijnen aan omwonenden.
- In geval van een zeer ernstig ongeval treedt het gemeentelijk rampenplan in werking.

Ten aanzien van externe veiligheid is voor de Willemspoortunnel een aantal studies verricht. TNO heeft onderzocht of een tunnel voor de omgeving een vergelijkbaar veiligheidsniveau heeft met een openbakconstructie. De TNO-studie stelt dat de tunnel veiliger is dan een bovengronds alternatief.

Veiligheidsmaatregelen

De uiteindelijke veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie categorieën:

1. Preventieve bouwkundige en technische voorzieningen
2. Preventieve gebruiksvoorschriften
3. Voorbereiding en organisatie van incidentenbestrijding en hulpverlening

Voor de derde categorie, de incidentenbestrijding in de tunnel, zijn in totaal 7 scenario's uitgewerkt die de basis vormen voor het optreden in de tunnel. Een gezamenlijk optreden van de NS en overheidsdiensten is hierbij noodzakelijk.

1. Een reizigers- of goederentrein ontspoord of botst tegen een voorgaande trein, waarbij de goederentrein geen gevaarlijke stoffen vervoert.
2. Een trein ontspoord of botst tegen een voorgaande trein, of een goederentrein staat stil in de tunnel, waarbij gevaarlijk stoffen vrijkomen.
3. In een stilstaande trein breekt brand uit.
4. In een rijdende trein breekt brand uit
5. In een stilstaande trein breekt brand uit, waarbij gevaarlijke stoffen aanwezig zijn.
6. Een gasalarm in de tunnel
7. Water stroomt de tunnel in.

Een gedetailleerde analyse van de veiligheid in de Willemspoortunnel is opgenomen in deelrapport III, bijlage D.O.

5.2 Westerschelde Oeververbinding

De Westerschelde Oeververbinding is een verkeerstunnel en wijkt daardoor af van de overige spoortunnels in dit overzicht. Een groot verschil tussen spoortunnels en verkeerstunnels is dat maatregelen en voorzieningen relatief eenvoudig in de trein aangebracht kunnen worden. Een ander verschil met verkeerstunnels is de gecontroleerde vorm van vervoer. Bij de verkeersleiding is exact bekend welke treinen op welke momenten van het baanvak gebruik maken.

De Westerschelde Oeververbinding is in de vergelijking meegenomen vanwege de belangrijke bijdrage in het Nederlandse veiligheidsdenken voor infrastructurele projecten. De nadruk bij de vergelijking met de Westerschelde Oeververbinding ligt dan ook niet op de uiteindelijk gekozen maatregelen, maar bij de gebruikte normering en beoordelingssystematiek.

De Westerschelde Oeververbinding bestaat uit twee tunnelbuizen voor gemotoriseerd verkeer met een totale lengte van 6.600 meter. De tunnel wordt uitgevoerd als autosnelweg. Elke tunnelbuis bevat twee rijstroken van 3,50 meter breed met aan weerszijden redresseerstroken en betonnen geleideprofielen. De toeleidende wegen worden voor het grootste gedeelte als enkelbaans autoweg uitgevoerd. Het ontwerp houdt rekening met een mogelijke toekomstige uitbouw tot autosnelweg. [Cement, oktober 1996]

Veiligheidsfilosofie

In een latere fase van het project (begin 1997) is opnieuw discussie ontstaan over de principiële vraag of veiligheid in het ontwerp vanuit een deterministische of probabilistische benaderingswijze moet worden benaderd. Deze discussie uit zich in een conflict tussen het Ministerie van Binnenlandse Zaken en het

Ministerie van Verkeer en Waterstaat over de onderlinge afstand tussen de dwarsverbindingen. Een Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel, onder leiding van Prof.ir. E. Horvat, heeft zich over dit conflict gebogen. Vervolgens is voor de veiligheid in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding door de Bouwdienst Rijkswaterstaat in het begin van 1997 een veiligheidsfilosofie opgesteld. Deze veiligheidsfilosofie is sterk vergelijkbaar met de veiligheidsfilosofie van de HSL-Zuid.

De beoordeling van veiligheid dient volgens de Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel volgens een aantal stappen te verlopen:

- Het formuleren van normwaarden (persoonlijk risico & karakteristieke waarde) voor het minimale veiligheidsniveau, op basis van ongevalscausistiek van bestaande tunnels.
- Op basis van geïdentificeerde ongevalsscenario's langs probabilistische weg het voor het tunnelontwerp kenmerkende veiligheidsniveau bepalen.
- Het toetsen van het behaalde veiligheidsniveau aan de normen en het eventueel verhogen van het veiligheidsniveau door het treffen van aanvullende maatregelen.
- Langs deterministische weg nader analyseren van scenario's die kritisch zijn voor het minimale veiligheidsniveau, analyseren van scenario's die maatgevend zijn voor de integriteit van de tunnel en analyseren van scenario's die voor het restrisico maatgevend zijn. Essentieel is de beoordeling op zelfredzaamheid en effectieve hulpverlening en de toepassing van de ketenbenadering van preventief naar repressief.
- Inventariseren van maatregelen die voldoen aan het ALARA-principe ter verkleining van het restrisico.
- Kwantificeren van de kosten en het beoogde effect van de verschillende maatregelen ten einde een rationele afweging en een verantwoorde beslissing mogelijk te maken.

Voor de Westerschelde Oeververbinding is een vijftal representatieve scenario's opgesteld en de gevolgen daarvan zijn deterministisch geanalyseerd. De zelfredzaamheid blijkt van grote invloed op het aantal slachtoffers en de potentiële gevolgen van een extreme brand. Opnieuw blijkt dat brand in een tunnel een sterk maatgevend karakter heeft voor de veiligheid van de gebruikers.

Veiligheidsmaatregelen

De veiligheidsmaatregelen, zoals die in het ontwerp zijn opgenomen, zijn gerangschikt aan de hand van de veiligheidsketen. De veiligheidsketen bestaat uit een aantal elementaire onderdelen met als achterliggende gedachte "voorkomen werkt beter dan genezen". De verschillende onderdelen zijn:

- voorkomen van onveiligheid (pro-actieve fase)
- verkleinen van de kans op onveiligheid (preventie bij de bron & preventieve correctie)
- beperken van de gevolgen van onveiligheid (preparatie & repressie)
- genezing en/of herstel na opgetreden onveiligheidsgevolgen (herstel en nazorg)

Belangrijk voor de ontwikkeling van veiligheid in een systeem is de evaluatie na afloop van een ongewenste gebeurtenis, waardoor verbeteringen kunnen worden aangebracht.

Een gedetailleerde analyse van de veiligheid in de Westerschelde Oeververbinding is opgenomen in deelrapport III, bijlage E.

5.3 Störebelttunnel

De Störebeltverbinding (Great Belt) is een gecombineerde rail- en wegverbinding tussen de Deense eilanden Fyn en Sjælland. De Störebeltverbinding maakt deel uit van een Oost-West verbinding ten behoeve van de economische en commerciële ontwikkeling van Denemarken.

De verbinding bestaat uit drie verschillende kunstwerken:

- De Westelijke brug, 6,6 kilometer lang voor gecombineerd rail- en wegverkeer.
- De Oostelijke tunnel (Störebelttunnel), 7,9 kilometer lang voor railverkeer.
- De Oostelijke brug, 6,8 kilometer lang voor wegverkeer met een maximale overspanning van 1.624 m.

De Störebelttunnel bestaat uit twee enkelsporige tunnelbuizen, met een interne diameter van 7,7 meter en een diepste punt op 75 meter beneden het zeeniveau. De tunnels liggen hart op hart 25 meter uit elkaar en zijn onderling verbonden met dwarsverbindingen om de 250 meter. De dwarsverbindingen bevatten elektrische tunnelinstallaties en bieden een vlucht- en toegangsweg in geval van een calamiteit. De ontwerp-snelheden van de treinen in de tunnel zijn gelijk aan de snelheden op de overige baanvakken, 180 km/uur voor reizigerstreinen en 120 km/uur voor goederentreinen.

Veiligheidsfilosofie

Net zoals bij conventionele infrastructurele projecten wordt de veiligheid beheerst door het opstellen van nomen en standaarden, ervaring van de ontwerpers en door kwaliteitsborging in het ontwerp- en uitvoeringsproces. De innovatieve aspecten van de Störebeltverbinding maken aanvullend onderzoek noodzakelijk. De verschillende aanvullende analyses zijn ondergebracht in een veiligheidmanagementsysteem dat bestaat uit vijf elementen:

- Benoemen van veiligheidsdoelstellingen,
- Vastleggen van de verantwoordelijkheid voor veiligheid,
- Een veiligheidsprogramma (een plan voor het uitvoeren van risico-analyses),
- Een besturingssysteem voor de implementatie van de verschillende aannames, behoeften en aanbevelingen,
- Audits.

Veiligheidsmaatregelen

De veiligheidsmaatregelen, die naar aanleiding van de risico-analyse in het ontwerp zijn opgenomen, zijn opgedeeld in twee categorieën, maatregelen ter reductie van kans van optreden en maatregelen om de gevolgen te beheersen. [Kampmann, oktober 1997]

Het reddingsconcept onderscheidt de mogelijkheid tot zelfredzaamheid van de gebruikers en de reddingsmogelijkheden door hulpverlenende diensten. Het concept is met een aantal praktijkproeven getoetst.

Een gedetailleerde analyse van de veiligheid in de Störebelttunnel is opgenomen in deelrapport III, bijlage F.

5.4 Kanaaltunnel

Onder Het Kanaal tussen Cheriton bij Folkestone in Engeland en Coquelles in Frankrijk ter hoogte van de "Pas de Calais" liggen drie tunnels met een lengte van 50 kilometer, waarvan 37 kilometer onder de zee. Twee tunnels zijn voor treinverkeer en hebben een interne diameter van 7,6 meter. De derde tunnel is een service-tunnel met een interne diameter van 4,8 meter. De drie tunnels liggen op een diepte tussen de 25 en 40 meter onder de zeebodem en zijn om de 375 meter onderling verbonden. Ten behoeve van de aërodynamica in de tunnel zijn om de 200 meter kleine verbindingsbuizen tussen de twee treintunnels geconstrueerd. [Hall, november 1992] De tunnel wordt geëxploiteerd door de private organisatie Euro-tunnel en is geschikt voor vier verschillende typen voertuigen:

- Auto's, bussen en motors in een reizigers-shuttle

- Heavy Goods Vehicles (HGV's) in een vracht-shuttle
- Reizigers-treinen
- Vrucht-treinen

De eerste twee worden geëxploiteerd door Eurotunnel (zie deelrapport III, bijlage G.1) en de laatste twee door de desbetreffende nationale spoorwegen.

De beide shuttle-systemen zijn ontworpen om 24 uur per dag, gedurende het hele jaar gebruikt te worden in bijna alle weersomstandigheden. Passagiers rijden met hun voertuig de reizigers-shuttle in en blijven bij hun voertuig. Bestuurders van HGV's worden van hun voertuig gescheiden tijdens de reis door de tunnel en verblijven in een apart compartiment in de trein. Het totale systeem verzorgt een verbinding van de Franse snelweg naar de Engelse snelweg of vice versa, binnen één uur.

Op dit moment heeft het totale vervoerssysteem een capaciteit van 20 passages per uur door de tunnel per rijrichting. Deze capaciteit kan met een eenvoudige aanpassing worden opgevoerd naar 24 passages en met een grote aanpassing in de signalerings-apparatuur naar 30 passages. [Morris, april 1995]

Veiligheidsfilosofie

In 1989 is gestart met het samenstellen van een "Safety Case" omdat de "Safety Authority" tot het inzicht kwam dat een analyse van alle veiligheidszaken in en rond de Kanaaltunnel noodzakelijk was. Deze analyses zijn uitgevoerd en vormen de basis van de "Safety Case". De essentie van de aanpak van de "Safety Case" bestaat uit het beschrijven van het systeem, het identificeren van de mogelijke gevaren, identificeren van de risico's en aangeven van de veiligheidsmaatregelen.

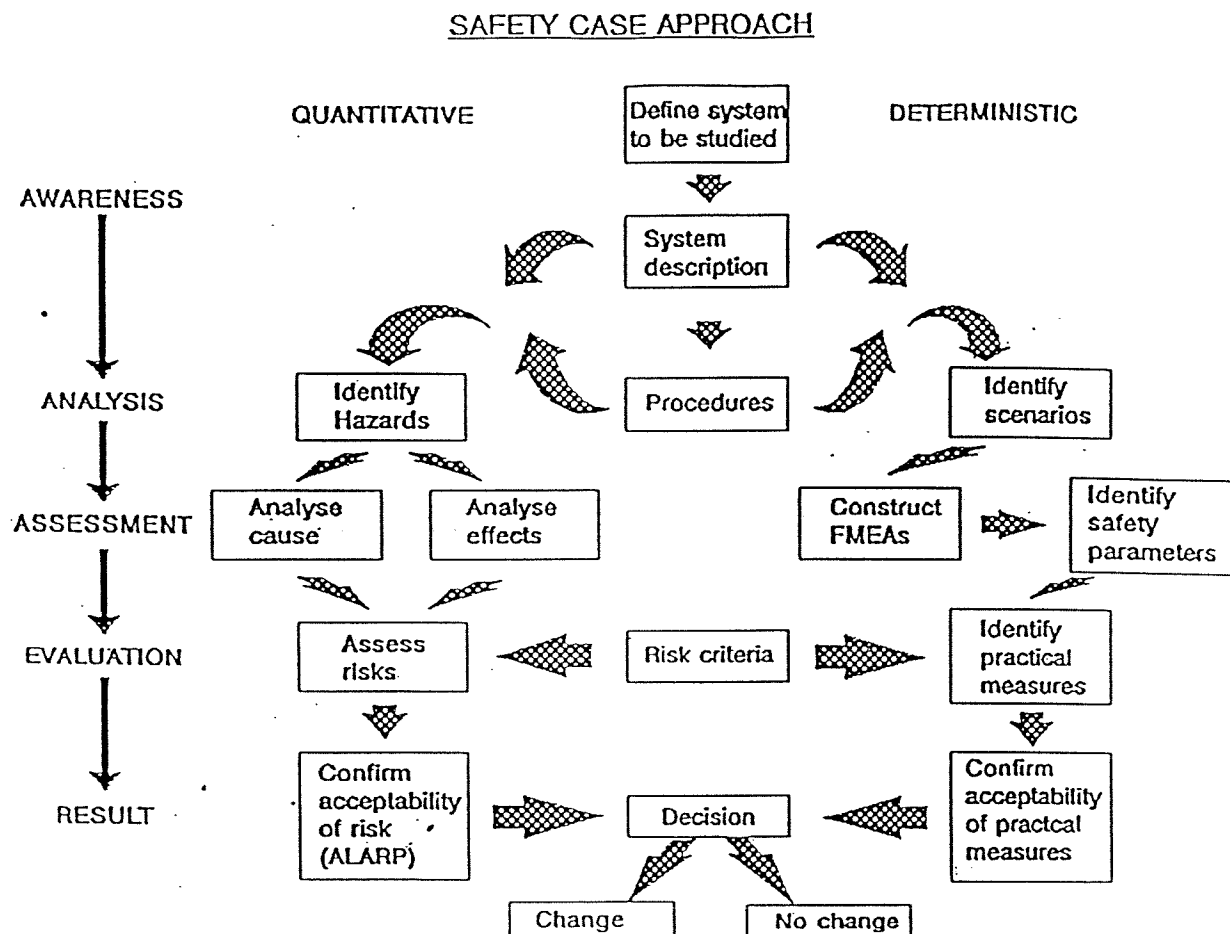
De "Safety Case" is ontwikkeld door nauwe samenwerking tussen deskundigen uit Engeland en Frankrijk, wat resulteerde in een gecombineerde probabilistisch en deterministische benadering. De Engelse benadering is gebaseerd op een probabilistische aanpak, waarin met een risico-analyse het veiligheidsniveau wordt gekwantificeerd en getoetst aan de vastgestelde eisen. De Franse benadering is meer kwalitatief en is gebaseerd op een deterministische aanpak (zie figuur 5.1).

Veiligheidsmaatregelen

Het ontwerp van de Kanaaltunnel bevat een groot aantal veiligheidsmaatregelen, zoals bijvoorbeeld een servicetunnel. De servicetunnel tussen de twee enkelsporige tunnelbuizen heeft een viertal functies:

- Aanvoer van frisse lucht voor de twee treintunnels.
- Bieden van een veilige vluchtweg bij een calamiteit. In de servicetunnel is de luchtdruk continu hoger om te voorkomen dat rook vanuit een treintunnel binnen kan dringen.
- Toegangsmogelijkheden bieden voor hulpdiensten en onderhoudspersoneel.
- Ruimte bieden aan enige tunnelvoorzieningen zoals brandblussystemen, elektrische aansluitingen en communicatievoorzieningen, etc.

Om de servicetunnel en de treintunnels onderling te verbinden zijn om de 375 meter dwarsverbindingen aangebracht, waardoor vluchten van de ene treintunnel naar de andere of naar de servicetunnel mogelijk is. In de twee treintunnels is een evacuatiepad met een leuning aangebracht om de dwarsverbindingen te kunnen bereiken. Aan de andere zijde van het spoor is een inspectiepad aangebracht. In de servicetunnel rijden speciaal ontworpen voertuigen met een maximale snelheid van 100 kilometer per uur. Deze voertuigen worden gebruikt om personeel te vervoeren dat is getraind voor onderhoudswerkzaamheden en hulpverlening. Een centrale controle post bewaakt de exacte locatie van de verschillende voertuigen in de servicetunnel. [Modern Railways, mei 1997]



Figuur 5.1: Gecombineerde deterministische & probabilistische aanpak "Safety Case"

Brandveiligheid

Eurotunnel heeft veel aandacht gericht op het belangrijkste potentiële gevaar, brand. Hierbij is getracht om de kans op brand maximaal te reduceren. In de beide treintunnels zijn in 31 verschillende detectiestations rook- en hittedetectoren aangebracht. Een alarm wordt bevestigd indien twee detectiesystemen afzonderlijk respectievelijk rook en vuur meten en wordt na bevestiging onmiddellijk doorgegeven aan het "Railway Control Centre".

Het materieel dat wordt gebruikt bestaat uit vuurbestendig materiaal en vormt een barrière van in ieder geval 30 minuten. Dit komt voort uit de gedachte dat de reistijd door de tunnel 24 minuten bedraagt en hierdoor de passagiers door de trein geëvacueerd kunnen worden terwijl de trein zelf de tunnel uitrijdt. De trein de tunnel uit laten rijden naar een blusperron wordt geprefereerd boven stoppen in de tunnel.

Op maandag 18 november 1996, omstreeks 22.00 uur 's avonds, vertrok een goederentrein richting Engeland met 29 vrachtwagens aan boord. Ooggetuigen in de Franse vertrekhal waarschuwden het Spoorwegcontrolecentrum dat mogelijk een gedeelte van de lading van de trein in brand stond. Tegelijkertijd werd dit bevestigd door het rookmeldingssysteem in de tunnel. In overeenstemming met de procedures vervolgde de trein zijn reis naar de bestemming. Een tweede waarschuwingssein waarschuwde de machinist voor een mogelijk defect aan één van de wagons, waardoor de machinist zich genoodzaakt zag de trein in de tunnel tot stilstand te brengen. De trein was inmiddels 18 kilometer verwijderd van de

vertrekhal en de evacuatieprocedure werd in gang gezet. Alle 31 passagiers en 3 personeelsleden werden met succes door de servicetunnel naar de andere tunnelbuis geëvacueerd. In deze tunnelbuis was, ten behoeve van een snelle evacuatie, een trein tot stilstand gebracht. Uiteindelijk was zeven uur na de eerste detectie van de brand, de brand onder controle van de brandweer. De uiteindelijke schade aan de tunnel en de exploitant wordt geraamd op ongeveer 1 miljard gulden. De uitgebrande treintunnel is 7 maanden buiten gebruik geweest voor herstelwerkzaamheden (zie deelrapport III, bijlage G.4). [Cement, november 1997]

Een gedetailleerde analyse van de veiligheid in de Kanaaltunnel is opgenomen in deelrapport III, bijlage G.

5.5 Channel Tunnel Rail Link

De Channel Tunnel Rail Link (CTRL) wordt gebouwd om de capaciteit van en naar de Channel tunnel te vergroten. De reistijd van het traject London- Parijs wordt met 30 minuten gereduceerd. De ontwerpsnelheid van het traject is 225 km/uur, waarbij op een aantal gedeelten 300 km/uur gereden kan worden. Hoge eisen aan betrouwbaarheid en comfort komen tot uiting in een bezetting van acht internationale treinen per uur in iedere rijrichting. Naast deze acht internationale treinen rijden 12 binnenlandse treinen per uur, ten behoeve van het lokale woon/werkverkeer. [Leighton, april 1995]

In totaal wordt 108 kilometer nieuw spoor aangelegd, waarvan ongeveer 23 kilometer ondergronds. De CTRL is een dubbelsporige verbinding, waarbij snelle reizigerstreinen langzamere goederentreinen kunnen inhalen op passeerstroken. Op het traject bevinden zich geen gelijkvloerse kruisingen en de autowegen kruisen het traject door middel van bruggen. Op verscheidene plaatsen worden aansluitingen op de bestaande railinfrastructuur voorbereid.

De langste tunnel in het traject ligt in London tussen het "London St. Pancras international & domestic Station" en het "Ripple Lane Portal" en heeft een lengte van 15 kilometer. Deze tunnel wordt gebouwd als twee enkelsporige boortunnels met dwarsverbindingen om de 750 meter. [Metcalfe, oktober 1997]

Veiligheidsfilosofie

Het beoordelen van het veiligheidsniveau in het ontwerp verloopt volgens een vijftal beoordelingsstappen:

1. Veiligheidscriteria
2. Inventarisatie van ongewenste topgebeurtenissen (gevaarsidentificatie)
3. Risico-analyse van de ongewenste topgebeurtenissen
4. ALARA-principe
5. Externe risico's

Veiligheidsmaatregelen

Om de verschillende tunnels in het tracé van voldoende mate van veiligheid te voorzien is uitgebreide discussie gevoerd over met name de veiligheid van brandende treinen in tunnels. [Leighton, april 1995] De uiteindelijke keuze tussen het wel of niet toepassen van veiligheidsmaatregelen wordt beïnvloed door:

1. de mening van de verschillende hulpdiensten
2. de voorgestelde noodprocedures
3. het ALARA-principe

Een gedetailleerde analyse van de veiligheid in de Channel Tunnel Rail Link is opgenomen in deelrapport III, bijlage H.

6 Toetsing & Vergelijking veiligheid HSL-Zuid

In dit hoofdstuk wordt het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid vergeleken met de veiligheidsfilosofie en uitwerking bij de verschillende geanalyseerde infrastructurele projecten. De uitgebreide analyses in deelrapport III en de korte samenvattingen van de analyses in hoofdstuk 5 van dit deelrapport vormen de basis voor de vergelijking.

6.1 Referentie: Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid

Het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid, zoals dat is weergegeven in hoofdstuk 4 van dit deelrapport, vormt de referentie aan de hand waarvan de verschillende infrastructurele projecten worden vergeleken. Het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid bevat een uitgebreid theoretisch kader voor de beheersing van veiligheid in het ontwerpproces van de Hogesnelheidslijn-Zuid. Het uitgangspunt om bij een volledig nieuw project de veiligheid conceptueel te benaderen is zeer waardevol.

Een conceptuele en integrale benadering van veiligheid in het ontwerp HSL-Zuid vereist een vertaling van het theoretische kader naar praktisch hanteerbare normen en toetsingscriteria. Op dit moment ontbreken nog harde ontwerpcriteria, die afgeleid moeten worden uit integrale veiligheidsbenaderingen. Hiermee kan het ontwerp van de infrastructuur direct getoetst, gestuurd of beoordeeld kan worden. De innovatieve benadering om de veiligheid top-down in het totale HSL-systeem te benaderen vereist een nadere concrete uitwerking om te voorkomen dat het ontwerp alsnog bottom-up tot stand komt.

De mening over de mate van veiligheid verschilt sterk tussen de verschillende betrokken partijen bij het ontwerp van een infrastructureel project als de Hogesnelheidslijn-Zuid. Voor de beheersing en besturing van veiligheid in het ontwerp is nog geen methodiek beschikbaar, die door alle betrokken partijen gebruikt en onderschreven wordt. Het Integraal VeiligheidsPlan is hiertoe een sterk probabilistisch georiënteerde aanzet.

Toedeling normen naar tunnels:

In de tweede fase van het Integraal VeiligheidsPlan is recent (januari 1998) gestart met het toedelen van normen naar tracédelen, bijvoorbeeld tunnels. Uitgangspunt bij deze toedeling is evenredigheid van risicobudget naar lengte. Dit uitgangspunt is geformuleerd op basis van een aantal overwegingen.

Een van deze overwegingen luidde dat een tunnel onveilig is voor brand maar voor botsing, ontsporing en aanrijding een kleiner probleem vormt. De keuze voor een dubbel U-profiel als vigerende dwarsdoorsnede voor het ontwerp introduceert een sterke afname van het ontsporingrisico. Een dubbel U-profiel bevat een ontsporingseleiding waardoor de trein bij ontsporing in de baan blijft. De automatische treinbeïnvloeding (ATB) vormt de beveiliging tegen botsing, zowel in de tunnel als daarbuiten. Het risico voor ontsporing en botsing is hiermee in en buiten de tunnel praktisch gelijk. Het risico voor aanrijding ligt in de tunnel lager dan buiten de tunnel, doordat minder makkelijk objecten in de baan komen.

In de publieke perceptie wegen tunnels zwaar en het beginsel dat de veiligheid overal even groot is, is inderdaad het eenvoudigste uit te leggen (zie paragraaf 4.3). Het Integraal VeiligheidsPlan vereist echter ook een maximale rendement van iedere geïnvesteerde veiligheidsgulden. Dit conflicteert met het evenredig toedelen van de veiligheid naar de lengte van het tracé.

6.2 Vergelijkingscriteria & vergelijking infrastructurele projecten

In hoofdstuk 5 en in deelrapport III is een aantal analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten gepresenteerd. Op basis van deze analyses zijn criteria geformuleerd om de projecten onderling te kunnen vergelijken. Bij het formuleren van de vergelijkingscriteria is veel aandacht geschonken aan de volledigheid en eenduidigheid van de criteria. Het uiteindelijk resultaat is een onderverdeling in de volgende criteria:

1. Ontwerpkenmerken:

- Functie van de tunnel
- Tunnelconcept

2. Veiligheid & ontwerp:

- Integrale benadering veiligheid voor het systeem (onderscheid in rapportage en ontwerp)
- Aandacht voor veiligheid tijdens het ontwerpproces

3. Veiligheidseisen:

- Integratie veiligheid in ontwerp (b.v. gebruik veiligheidsketen, concept veiligheidsontwerp)
- Gehanteerde veiligheidsprincipes voor beslismomenten (b.v. ALARA-principe, relatie hulpverlening)
- Relatie veiligheid en kosten-baten afweging

4. Normering en beoordeling risico's:

- Basisinformatie en gegevens waaruit de filosofie is voortgekomen
- Differentiatie van de normen, spreiding over de type risicodragers en naar de verschillende subsystemen (bijvoorbeeld de tunnel)
- Kwantificering normering
- Vergelijking normering
- Kwantificering en beoordeling van risico's

5. Veiligheid in tunnels:

- Evenwichtige verdeling van de (on)veiligheid in het ontwerp (afwijking bij tunnels)
- Onderscheiden maatgevende calamiteiten
- Preventie calamiteiten
- Beheersingsmogelijkheden van calamiteiten

6. Evaluatie:

- Evaluatie van veiligheid (b.v. consequent gebruik van de veiligheidsprincipes)

Op basis van bovenstaande criteria heeft een vergelijking van de verschillende infrastructurele projecten plaats gevonden. Het resultaat is weergegeven in de figuur 6.1 op de volgende pagina's.

In figuur 6.2 is voor alle infrastructurele projecten kort weergegeven in welke systeemdelen de veiligheidsvoorzieningen zich concentreren. Het volledige systeem is daarbij onderverdeeld in de subsystemen trein, infrastructuur, organisatie, beveiliging en hulpverlening.

criterium	HSL-Zuid	Westerschelde Oeververbinding	Willemspoortunnel Rotterdam	Störebelttunnel	Channel Tunnel Rail Link	Kanaaltunnel
Functie tunnel	Spoortunnel voor Thalys (300 km/uur) en reizigersshuttles (220 km/uur)	Verkeerstunnel voor categorie 1 vrachtverkeer en autoverkeer	Spoortunnel voor goederentreinen en reizigerstreinen	Spoortunnel voor goederentreinen (120 km/uur) en reizigerstreinen (180 km/uur)	Spoortunnel voor reizigers, met gelimiteerd goederenvervoer	Spoortunnel voor reizigers, met gelimiteerd goederenvervoer
Tunnelconcept	O.a. boortunnel van 7 km (gedetailleerde tunnel-layout nog niet bekend)	Twee boortunnels van 6,5 km met om de 250 m dwarsverbindingen	Cut-and-covertunnel van 3.164 m met nooddeuren om de 300 m en toegangsschachten maximaal om de 1.100 m.	Twee enkelsporige boortunnels van 7,9 km en dwarsverbindingen om de 250 m.	O.a. twee enkelsporige boortunnels van 15 km. en dwarsverbindingen om de 750 m.	Twee enkelsporige boortunnels en een servicetunnel van 50 km met dwarsverbindingen om de 375 m
Integrale benadering van veiligheid	Theoretisch een integrale benadering volgens probabilistische methodiek. In de ontwerp-praktijk een sterke bottom-up benadering op basis van ervaring	Probabilistische benadering. In latere fase gecombineerde probabilistisch en deterministische aanpak	Geen systematische benadering van veiligheid tijdens het ontwerpproces	Gecombineerde probabilistische en deterministische benadering. Sturing door multidisciplinaire commissie	Sterk probabilistische benadering met deterministische kenmerken	Optimale integratie vanuit een groot aantal gedetailleerde studies volgens gecombineerde probabilistische & deterministische benadering
Aandacht voor veiligheid tijdens het ontwerp	Groeiende aandacht voor veiligheid, ook in relatie met hulpverlening (opstellen van maatgevende scenario's)	Sterk wisselende aandacht voor veiligheid. Piek in de eindfase van het ontwerp	In eerste instantie enige aandacht voor externe veiligheid. In de eindfase aandacht voor interne en externe veiligheid.	Systeem is ontworpen op risico's voor de gebruikers en risico's voor langdurige onderbrekingen. In drie fases van het project zijn risico-analyses uitgevoerd	Veiligheid is een belangrijk ontwerpcriterium in het ontwerpproces maar wordt sterk afgewogen tegen economische criteria	Sterk groeiende aandacht: <ul style="list-style-type: none"> • veiligheid is erg belangrijk voor de gebruikers • consensus moest bereikt worden tussen opdrachtgevende partijen
Integratie veiligheid in het ontwerp (hoofdprincipes)	Veiligheid bereiken vanuit de volgende principes: <ul style="list-style-type: none"> • intrinsiek veilig • veiligheidstaken door veilige systemen • procedures en back-up door mensen 	Veiligheid bereiken vanuit de volgende principes: <ul style="list-style-type: none"> • intrinsiek veilig • veiligheidstaken door veilige systemen • procedures en back-up door mensen 	Ontwerp volgens keten van: <ul style="list-style-type: none"> • fysieke maatregelen in ontwerp • preventieve gebruiksvoorschriften tunnel • preparatie-activiteiten voor een maximaal repressief optreden 	Veiligheidsmanagement systeem: <ul style="list-style-type: none"> • veiligheidsdoelstelling • vastleggen verantwoordelijkheden • veiligheidsprogramma voor risico-analyses • besturingssysteem • audits 	Beoordeling van veiligheid <ul style="list-style-type: none"> • veiligheidscriteria • inventarisatie ongewenste topgebeurtenissen • risico-analyse ongewenste topgebeurtenissen • ALARA-principe • Externe risico's 	Grondslagen Safety Case <ul style="list-style-type: none"> • vastleggen verantwoordelijkheden • vastleggen veiligheidsdoelen • vastleggen standaards
Gehanteerde veiligheidsprincipes	<ul style="list-style-type: none"> • ALARA-principe bovenop de normen • evenredige verdeling • economische optimalisatie veiligheidsbudget • veiligheidsketen 	<ul style="list-style-type: none"> • constructieve integriteit van de tunnel • maximale zelfredzaamheid en effectieve hulpverlening • ALARA-principe • veiligheidsketen 	<ul style="list-style-type: none"> • veiligheidstaken door veilige systemen (NS) • formuleren van 7 bestrijdingsscenario's • bij een calamiteit handmatige bediening 	<ul style="list-style-type: none"> • maatregelen voor kansreductie en gevolgenbeheersing • toetsen op reddingsconcepten (zelfredzaamheid & hulpverlening) 	<ul style="list-style-type: none"> • ALARA-principe • goede communicatie met alle belanghebbende • economisch nut van investeringen in veiligheid 	<ul style="list-style-type: none"> • ALARA-principe bovenop de normen • ontwerpen m.b.v. probabilistische normen • deterministische toetsing op faalmechanismen (FMEA)

Criterium	HSL-Zuid	Westerschelde Oeververbinding	Willemspoortunnel Rotterdam	Störebeltunnel	Channel Tunnel Rail Link	Kanaaltunnel
Relatie veiligheid & economisch criterium	Veiligheidsnormen overheersen economische principes	Geen relatie, veiligheid overheerst sterk in ALARA-principe	Geen gekwantificeerde relatie. In eerste instantie maatregelen geschrappt uit kostenoverwegingen, maar later weer toegevoegd	?	Sterke relatie, het verlies van een mensenleven is gekwantificeerd op 2 miljoen Pond Veiligheidsnormen worden aangepast als maximale niveau bereikt is	Weinig relatie, project alleen mogelijk als alle betrokken partijen tevreden zijn over veiligheidsniveau
Basisinformatie en gegevens voor filosofie	Veiligheid gelijk aan vergelijkbare vervoersmodaliteiten met een verbeteringsfactor	Veiligheid gelijk aan vergelijkbare vervoersmodaliteiten met een verbeteringsfactor	Veiligheidsniveau gelijk aan vliegverkeer en de tunnel moet alle functies van het oorspronkelijke spoor overnemen	Veiligheid vergeleken met auto- en spoorweg op vaste land met gelijke lengte en vergelijkbare intensiteit	Vergelijking met andere vervoersmodaliteiten, zoals vliegtuig, bus en personenauto en bestaand spoor (+ verbeteringsfactor van 2)	Vergelijking met andere vervoersmodaliteiten en met dagelijkse risico's (niet direct terug te vinden in rapport)
Differentiatie van normen over risicodragers en subsystemen	Scheiding naar normen voor reizigers, personeel, omwonenden, passanten en suïcidale Toedeling naar baanconcepten	Scheiding naar normen voor reizigers, personeel, omwonenden, passanten en suïcidale	Geen kwantitatieve berekening van intern risico of scheiding over risicodragers	Geen scheiding naar baanconcepten of risicodragers	Scheiding naar normen voor personeel, buitenstaanders, internationale reizigers en binnenlandse forensen Toedeling naar baanconcepten	<ul style="list-style-type: none"> Scheiding van individueel risico naar treinreizigers en tunnelreizigers (met eigen voertuig) geen onderscheid tunnel en open baan
Kwantificering normering (t.o.v. HSL-Zuid)	Persoonlijk risico: 0,23 doden/jr, bij 200 treinreizen per jaar KW: 2,3 doden maximaal per jaar voor gehele systeem	Individueel risico: 0,63 doden/jr. KW: 4 doden maximaal per jaar voor gehele systeem	-	Individueel risico: 0,013 doden per jaar voor het gehele systeem Groepsrisico:(doden/ jaar) 1-19 doden: $3 \cdot 10^{-3}$ 20-200 doden: $5 \cdot 10^{-6}$ meer dan 200: $1 \cdot 10^{-6}$	I.R passagiers: $1 \cdot 10^{-5}$ I.R personeel: $1 \cdot 10^{-4}$ Groepsrisico: één incident in 100 jaar met 10 doden en één incident in 1.000 jaar met 100 doden	I.R: $8,0 \cdot 10^{-10}$ doden per reizigerskilometer Groepsrisico F-N curve met onderscheid in drie niveaus
Vergelijking normering	PR: 0,23 KW: 2,3	IR: 0,63 KW: 4	PR: - KW: -	PR: 0,05 KW: 15	PR: 0,7 KW: 31	PR: 0,7 KW: 31
Kwantificering en beoordeling van risico's	Uitvoeren van risicoanalyses voor maatgevende calamiteiten Contact met brandweer over zelfredzaamheid en hulpverlening	<ol style="list-style-type: none"> veiligheidsniveau probabilistisch benaderen toetsen aan normen en aanvullende maatregelen nemen maatgevende scenario's deterministisch analyseren inventariseren ALARA-maatregelen kwantificeren kosten en veiligheidsreductie 	Alleen een kwalitatieve benadering van extern risico	<ol style="list-style-type: none"> risico's open baan eliminieren risico's voor de tunnel risico tunnel zonder maatregelen effect op risico van veiligheidsmaatregelen 	Kleine kans/grote gevolgen: <ul style="list-style-type: none"> analyse foutenbomen analyse gebeurtenissenbomen data voor kansschatting gevolgenbeoordeling Grote kans/ kleine gevolgen op basis van conventioneel spoor	<ul style="list-style-type: none"> Ontwikkeling van incidenten weergegeven met foutenbomen en gebeurtenissenbomen gedetailleerde analyse van menselijke factoren bij iedere individuele actie

criterium	HSL-Zuid	Westerschelde Oeververbinding	Willemspoortunnel Rotterdam	Störebelttunnel	Channel Tunnel Rail Link	Kanaaltunnel
Evenwichtigheid van veiligheid	Streven naar volledige evenwichtigheid van normen over het traject	De veiligheid in de tunnel mag niet afwijken van de veiligheid op een vergelijkbaar wegvak	Geen expliciete vergelijking gemaakt	Veiligheid gelijk aan vergelijkbaar baanvak op land met dezelfde lengte en dezelfde verkeersintensiteit	Geen directe eisen aan evenredigheid	Het individueel risico voor reizigers in de tunnel mag niet afwijken van dat op een vergelijkbaar baanvak
Maatgevende calamiteiten	Brand van 20 MW	5 representatieve scenario's (plasbrand met beperkte evacuatie tijd sterk maatgevend)	Een brand met of zonder gevaarlijke stoffen of een eventuele overstroming	Ontsporing, brand in de trein, frontale botsing of kop-staart botsing	35 typen incidenten, zoals botsing, ontsporing en brand op verschillende baanvakken	Brand in een reizigersshuttle
Preventie calamiteit	-	Detectie van vuur en rook in samenhang met signaleringssysteem aan uiteinden van de tunnel Optimaliseren zelfredzaamheid	De trein rijdt in principe de tunnel uit, maar een noodremoverbrugging is niet aanwezig	Trein maakt een gecontroleerde stop buiten de tunnel	Principe van ongecontroleerde stop; Een verlenging van de beschikbare evacuatie tijd door slim ventilatiesysteem	<ul style="list-style-type: none"> • trein maakt een gecontroleerde stop (aangepast na incident 18 november 1996) • evacuatie naar service-tunnel
Beheersingsmogelijkheden calamiteit	-	Rampbestrijdingsplan in ontwikkeling	Uitwerking van 7 bestrijdingsscenario's	Veel aandacht aan zelfredzaamheid en effectiviteit van hulpverlenende diensten	Veiligheidsmaatregelen in tunnels op basis van: <ul style="list-style-type: none"> • mening van hulpdiensten • voorgestelde noodprocedures • ALARA-principe 	<ul style="list-style-type: none"> • Grote mate van redundantie in beveiligingsystemen • training personeel
Evaluatie veiligheid	De implementatie van veiligheidseisen en oplossingen in het ontwerp is in sterke ontwikkeling	Sterk wisselende aandacht voor veiligheid resulteert uiteindelijk in een hoog veiligheidsniveau in een ontwerp dat economisch niet optimaal is	De open verbinding met Station Blaak en het meertrostelsel verlaagt het veiligheidsniveau Het overschakelen op handbediening bij calamiteiten is discutabel	De veiligheid is vanuit een aantal invalshoeken bestudeerd waardoor een doorzichtig concept is ontstaan.	Sterke probabilistische benadering vanuit statistiek conventioneel spoor met zelfs kwantificering van de waarde van mensenlevens	Uitgebreid aandacht voor veiligheid, vanuit verschillende invalshoeken, maar desondanks een calamiteit waarbij menselijke fouten en gebrek aan informatie een cruciaal rol speelden

Figuur 6.1: Vergelijking infrastructurele projecten

	HSL-Zuid	Westerschelde Oeververbinding	Willemspoortunnel Rotterdam	Störebelttunnel	Channel Tunnel Rail Link	Kanaaltunnel
Trein	?	nvt	-	-	+	+
Infrastructuur	++	+++	+	+	++	++
Organisatie	?	nvt	+	+	?	++ (na brand)
Beveiliging	+	+	+	?	?	++ (na brand)
Hulpverlening	+	+	+++	+	?	++

Figuur 6.2: Concentratie veiligheid in verschillende systeemdelen
(+: aandacht; -: weinig/ geen aandacht; ?: onbekend)

6.3 Aanvulling Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid

De analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten en de onderlinge vergelijking vormen de basis voor onderstaande aanvullingen op het Integrale VeiligheidsPlan HSL-Zuid. De belangrijkste constatering ten aanzien van de integratie van veiligheid in het ontwerp van een infrastructureel project is de grote diversiteit in aanpak en problematiek. De zes geanalyseerde projecten tonen zes verschillende methoden van omgaan met veiligheid, conflicten op verschillende niveaus, grote verschillen in de belangen van de betrokken partijen en grote verschillen in de uiteindelijke keuze van veiligheidsmaatregelen. De definitie, de hantering en de benadering van veiligheid bij infrastructurele projecten blijkt voor iedere betrokken partij verschillend en zelfs soms tegenstrijdig te zijn.

1. Methodische aanpak

Naast bovenstaande verschillen bevatten de zes projecten ook een groot aantal overeenkomsten. Een van de overeenkomsten is dat het aspect veiligheid vaak pas laat in het ontwerpproces wordt geïmplementeerd. Voor een optimale integratie van veiligheid in het ontwerp van een infrastructureel project is het van groot belang om in een vroegtijdig stadium de verschillende veiligheidseisen te inventariseren en te concretiseren.

In het ontwerpproces dient het aspect veiligheid geïmplementeerd te worden aan de hand van drie niveaus. Eenduidige veiligheidseisen dienen geformuleerd te worden als garantie voor een voldoende veilig ontwerp. Aan de hand van de veiligheidseisen kunnen verschillende veiligheidsoplossingen ontworpen worden. Tenslotte dient een geaccepteerde toetsingsmethodiek ontwikkeld te worden om de oplossingen te toetsen aan de eisen.

2. Multidisciplinaire benadering van veiligheid

De definitie, de hantering en de benadering van veiligheid is voor iedere betrokken partij verschillend. Een innovatieve en geaccepteerde beoordeling van veiligheid vereist een benadering vanuit verschillende invalshoeken. Een multidisciplinaire benadering van veiligheid start daarom met een uitgebreide analyse van de belangen van de verschillende betrokken partijen. Deze belanghebbenden-analyse dient om in een vroeg stadium van het ontwerpproces de gestelde veiligheidseisen concreet te maken. Een tweede stap in de multidisciplinaire benadering is de probabilistische analyse van het integrale vervoerssysteem. De derde en de belangrijkste stap is de interpretatie en uitwerking van de eisen in de probabilistische analyse van het systeem.

2.1 Belanghebbenden-analyse

Een analyse van de verschillende betrokken partijen laat zien dat niet alleen de harde economische belangen een rol spelen voor veiligheid. Ook de perceptie van de toekomstige gebruikers is van groot belang voor de uiteindelijke acceptatie van het ontwerp. De hulpverlenende diensten vormen een derde belangengroep die eisen stellen aan het uiteindelijke ontwerp.

2.2 Probabilistische analyse

Het uitvoeren van een uitgebreide analyse van de verschillende betrokken partijen geeft een duidelijk beeld van de gestelde veiligheidseisen. Het vervoerssysteem moet voldoen aan de veiligheidseisen uit het Integrale Veiligheidsplan, het persoonlijk risico en de Karakteristieke Waarde. Het uitvoeren van een risico-analyse voor het gehele systeem is noodzakelijk om vervolgens het effect van de verschillende veiligheidsmaatregelen te kunnen kwantificeren. Het uitvoeren van een risico-analyse vereist echter een referentie-ontwerp, dat geformuleerd wordt op basis van ervaring van betrokken partijen.

Bij het toepassen van een risico-analyse moet benadrukt worden dat dit geen harde weergave van de werkelijkheid betreft, maar een zo objectief mogelijke modelering. Een risico-analyse moet dan ook ge-

bruikt worden om de knelpunten in het systeem bloot te leggen. Ieder incident of ongeluk begint en ontwikkelt zich immers verschillend.

2.3 Uitwerking eisen naar probabilistische analyse

Deze derde stap is essentieel in de multidisciplinaire benadering van veiligheid. Een volledig probabilistische benadering optimaliseert het ontwerp naar de totale kosten. Een multidisciplinaire benadering van veiligheid optimaliseert het ontwerp naar acceptatie van de verschillende belanghebbenden, waardoor een maximaal veilig ontwerp ontstaat. Overige invalshoeken zoals de emotie van de gebruiker, de belangen van hulpverlenende diensten bepalen mede de keuze voor de verschillende veiligheidsmaatregelen. Het zwaartepunt van de investering van veiligheidsguldens in het ontwerp wordt bepaald door de belangen van de verschillende betrokken partijen. In eerste instantie zijn deze belangen te onderscheiden in economische belangen, perceptie van de toekomstige gebruiker en belangen van betrokken partijen als hulpverlenende diensten.

Het volledige vervoerssysteem zal moeten voldoen aan de topeisen uit het Integraal VeiligheidsPlan in de vorm van het persoonlijk risico en de Karakteristieke Waarde. Bij het uitwerken van de veiligheid van het systeem en de toetsing aan de topeisen zal een balans gevonden moeten worden in de verschillende belangen van de belanghebbenden. Belangen die een rol spelen zijn de volgende:

Economische belangen

- Toepassing van het ALARA-principe
- Maximaal rendement van geïnvesteerde veiligheidsguldens

Perceptie van toekomstige gebruikers

- perceptie van de maatschappij over het systeem
- psychologie en ergonomie van de betrokkenen

Belangen hulpverlenende diensten

- maximale zelfredzaamheid
- optimale hulpverlening mogelijk maken

3. Integrale systeembenadering

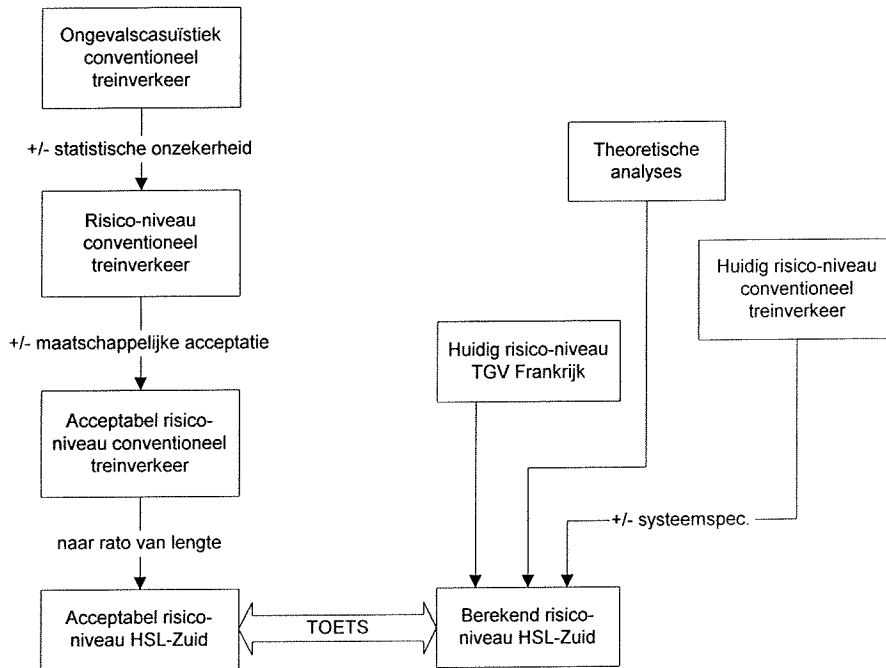
Voor een optimaal veilig ontwerp van een infrastructureel project is een integrale systeembenadering noodzakelijk, waarbij continu gewaakt moet worden om suboptimalisatie van deelsystemen te voorkomen. Een vroegtijdige versmalling van de oplossingsruimte leidt altijd tot een goed antwoord op een niet relevante vraag. In een integrale systeembenadering worden veiligheidsmaatregelen overwogen in alle afzonderlijke deelsystemen; de trein, de infrastructuur, de procesvoering of de beveiliging.

4. Normering Integraal VeiligheidsPlan

Het onderscheid in twee soorten risiconormen, het persoonlijke risico en de karakteristieke waarde, is erg nuttig om de maatschappelijke perceptie ten aanzien van groepsrisico weer te geven. De vergelijking in tabel 6.1 van de risiconormen voor de verschillende infrastructurele projecten toont een zeer conservatieve normering voor de HSL-Zuid. Op basis van deze constatering is de onderbouwing van de waarde van de Karakteristieke Waarde geanalyseerd in bijlage I.1 van deelrapport III.

De normering van de veiligheid voor de HSL-Zuid dient als maat voor de geaccepteerde onveiligheid in het vervoerssysteem door de verschillende betrokkenen. De beschikbare casuïstiek van het conventionele spoor geeft de mate van veiligheid in het conventionele spoor weer.

Bij het gebruik van normen is het van groot belang om onderscheid te maken tussen de onderbouwing van de normering en de toetsing van het systeem aan de normering (zie figuur 6.3).



Figuur 6.3: Schematisering normering

Voor de berekening van het geaccepteerd veiligheidsniveau in conventioneel spoor is een percentage van de overwegongevallen relevant. De variant waarbij 90 % van de spoorwegongevallen is meegewogen (variant 2 in bijlage I.0 in deelrapport III) vormt een goede indicatie voor het geaccepteerd veiligheidsniveau. De vergelijking met de internationale projecten toont een veiligheidsniveau van vergelijkbare orde met het veiligheidsniveau, zoals berekend volgens variant 2.

Het voorstel is om voor de normering van de HSL-Zuid voor maatschappelijk risico uit te gaan van de $F-N^2$ curve, zoals weergegeven in bijlage I.3 van deelrapport III. Deze $F-N^2$ curve is berekend volgens variant 2, waarbij 90 % van alle ongevallen op spoorwegovergangen is meegewogen. Bij deze $F-N^2$ curve hoort een Karakteristieke Waarde van 14.8 slachtoffers per jaar voor het gehele systeem.

Bijlage I.0 in deelrapport III bevat de gedetailleerde onderbouwing van deze voorgestelde wijziging in de normering voor maatschappelijk risico.

5. Evenredigheid van veiligheid

Voor het omgaan met veiligheidscriteria zijn twee niveaus te onderscheiden. Bij het eerste niveau is de veiligheidsnorm van essentieel belang en moet bereikt worden om het systeem te ontwikkelen. Bij het tweede niveau van omgaan met veiligheid vormen de veiligheidscriteria slechts één aspect van een totale afweging. In de geanalyseerde projecten zijn deze twee niveaus te onderscheiden en blijkt dat vanaf een bepaald veiligheidsniveau een relatie ontstaat tussen veiligheidsnormen en andere belangen.

Voor de individuele gebruiker van het systeem is het niet acceptabel dat het veiligheidsrisico onevenredig verdeeld wordt over het systeem. Het individu verwacht een evenwichtige verdeling over het totale traject. Het Persoonlijk Risico in de tunnel mag dan ook niet afwijken van het Persoonlijk Risico op een ver-

gelijkbaar bovengronds traject (vergelijk de Störebelttunnel, de Kanaaltunnel en de Westerschelde Oeververbinding).

De maatschappelijke norm voor veiligheid van het systeem, de Karakteristieke Waarde, dient tevens gehaald te worden om het totale systeem tot stand te laten komen. Deze norm dient ook met een zekere mate van evenredigheid verdeeld te worden over het traject.

Het is belangrijk om goed weer te geven wat de consequenties zijn van de geëiste evenredigheid. Indien blijkt dat een evenredige verdeling een zeer zware investering in de tunnel onder het Groene Hart vereist, dient door de besluitvormers een integrale afweging gemaakt te worden. Een integrale afweging op basis van aspecten als bijvoorbeeld inpassing in de omgeving, milieu-overlast, kostenaspecten en veiligheid. De eis om een tunnel onder Het Groene Hart te boren levert immers een groot aantal maatschappelijke voordelen voor sommige aspecten (geringe aantasting milieu, maximale inpassing in landschap). In de afweging moet worden meegenomen hoe belangrijk deze evenredigheid in het systeem is en hoe belangrijk een maximale rendement van de veiligheidsinvestering is. Een groot maatschappelijk rendement bij veiligheidsinvesteringen is namelijk ook te behalen in een aantal andere systemen, zoals vangrails op alle B-wegen in Nederland of branddetectoren in alle woonhuizen in Nederland (80 doden door brand in woonhuizen per jaar). Het maatschappelijk doel moet een maximale veiligheid in Nederland zijn voor alle systemen, o.a. vervoerssystemen. Een evenredige verdeling van de Karakteristieke Waarde over het HSL-traject kan met dit gemeenschappelijk doel conflicteren (zie ook onderstaand citaat).

“Het gaat erom of de kleine kans op de ernstige ongevallen wel zulke dure veiligheidsmaatregelen rechtvaardigen. Ook de hulpverlening, het ministerie van Binnenlandse Zaken en de brandweer voorop, aanvaarden vanaf een bepaalde kleine kans het feit dat ze onvoldoende zijn voorbereid op sommige ernstige ongevallen. Er staan niet tien ziekenhuizen extra in Zeeland klaar voor het geval zich een ernstig ongeval met een zeeschip met ammoniak op de Westerschelde voordoet. De kans op dat ongeval wordt acceptabel klein geacht. Tunnels zijn bijzondere constructies maar de samenleving aanvaard ook elders onvermijdelijke risico's.” [Alert, december 1997]

6. Flexibiliteit ten aanzien van toekomstige ontwikkelingen

Het hele systeem wordt ontworpen met een levensduur van ongeveer 100 jaar. Voor bepaalde subsystemen, zoals de infrastructuur, is het van belang om vooruit te kijken naar toekomstige ontwikkelingen en bijbehorende eisen aan het systeem. Een toekomstige uitbreiding van de HSL-Zuid kan bijvoorbeeld zijn om luchtvracht met hoogwaardig hogesnelheidsmaterieel van Schiphol naar België te transporteren. Als de tunnel onder het Groene Hart een beperkende factor vormt voor deze toekomstige uitbreiding levert dit of een knelpunt in de exploitatie of een lager veiligheidsniveau.

7 Boortunnel Groene Hart

In deelrapport II is de veiligheidsfilosofie uitgewerkt voor de boortunnel onder het Groene Hart. Aan de hand van de multidisciplinaire benadering en de overige aanbevelingen zoals beschreven in paragraaf 6.3 is de veiligheid van de boortunnel nader uitgewerkt. In dit hoofdstuk wordt de gehanteerde methodiek in hoofdlijnen uitgezet en wordt het bereikte resultaat kort weergegeven.

7.1 Methodiek

In deze paragraaf wordt de aanpak beschreven die is gevolgd om een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart te ontwikkelen. De aanpak is gesplitst in het formuleren van de doelstelling, het opstellen van het bijbehorende implementatietraject, het formuleren van de maatgevende begingebourtenis en het specificeren van de veiligheidseisen voor de tunnel. Vervolgens is een inventarisatie gemaakt van de mogelijke veiligheidsmaatregelen in het ontwerp. Een aantal veiligheidsmaatregelen is direct opgenomen in het referentie-ontwerp en een aantal veiligheidsmaatregelen wordt in een latere fase gekwantificeerd.

7.1.1 Doelstelling & implementatie

De doelstelling is het opstellen van een model voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de boortunnel onder het Groene Hart.

Dit model wordt opgesteld aan de hand van de multidisciplinaire benadering. Deze start met een uitgebreide analyse van de belangen van de verschillende betrokken partijen. Een tweede stap in de multidisciplinaire benadering is de probabilistische analyse van het integrale vervoerssysteem. De derde en de belangrijkste stap is de interpretatie en uitwerking van de eisen in de probabilistische analyse van het systeem.

Voor een integrale benadering van veiligheid is een systeembeschrijving over alle systeemdelen van het referentie-ontwerp van groot belang. Dit om te voorkomen dat reeds in een beginstadium van het proces de oplossingsruimte wordt gereduceerd tot alleen het infrastructuurgedeelte van het systeem. In eerste instantie wordt een referentie-ontwerp geformuleerd waarvan het risiconiveau wordt gekwantificeerd. Vervolgens wordt het effect van een aantal veiligheidsmaatregelen gekwantificeerd. De verschillende veiligheidsmaatregelen worden onderverdeeld naar de verschillende schakels in de veiligheidsketen, zoals die door het Ministerie van Binnenlandse Zaken is geïntroduceerd. Deze keten bestaat uit de schakels Pro-actie, Preventie, Preparatie, Repressie en Nazorg.

Het uiteindelijke resultaat van de gehanteerde modellering wordt weergegeven in een matrix met daarin de verschillende schakels van de veiligheidsketen en de veiligheidsmaatregelen. De veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie groepen: Veiligheidsmaatregelen die in het ontwerp aanbevolen worden, maatregelen die eventueel aanbevolen worden en maatregelen die niet aanbevolen worden.

7.1.2 Maatgevende begingebourtenis

Voor de modellering van de integrale veiligheid in het vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart is gekozen om slechts één begingebourtenis in de risico-analyse van het referentie-ontwerp mee te nemen. Een brandende trein in de tunnel wordt als maatgevende begingebourtenis aangehouden voor de veiligheid van de gebruikers.

Een brandende trein in de tunnel is voor de risico-analyse als maatgevende begingebuurtenis genomen vanwege het directe gevaar voor de reizigers. De hoge temperatuur en de aanwezigheid van rook beperken de beschikbare tijd voor evacuatie en hulpverlening. Indien de inrichting van de tunnels, de procedures, de training van personeelsleden en hulpverleners voldoende is om een brand effectief het hoofd te bieden wordt aangenomen dat dit ook geldt voor de minder kritische calamiteiten, zoals botsing en ontsparing.

7.1.3 Veiligheidseisen

Voor de verschillende veiligheidseisen is een voorzet gemaakt, zodat een interpretatie van het effect van de veiligheidsmaatregelen gegeven kan worden. De veiligheidseisen zijn onderverdeeld in probabilistische toepisen, economische veiligheidseisen, eisen t.a.v. de perceptie van de gebruikers en eisen van hulpverlenende diensten.

Probabilistische toepisen:

- Het individueel risiconiveau voor het gehele systeem moet evenredig verdeeld worden over het tracé en mag in de tunnel niet afwijken van een vergelijkbare bovengronds traject. Dit betekent een evenredige toedeling van het persoonlijke risiconiveau voor de reiziger van $4 \cdot 10^{-6}$ naar de tunnel. Het Persoonlijk Risico in de tunnel is $1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 6,7 \cdot 400 = 4 \cdot 10^{-7}$ overlijdenskans/jaar
- De Karakteristieke Waarde (KW) van het tunneltracé moet gelijk zijn aan de karakteristieke waarde op een willekeurige tracé-onderdeel. De KW in de tunnel mag enigszins afwijken op basis van een onderbouwde integrale afweging, waarin veiligheid van de maatschappij, maatschappelijke belasting van het milieu, inpassing in de maatschappelijke omgeving en de economische lasten voor de maatschappij worden meegenomen. Een evenredige verdeling van de KW over het tracé levert de volgende KW voor de tunnel:

$$KW_{\text{tunnel}} = E[n] + 3 \sigma[n] = 0,0154 + 3 * (\text{SQRT}(E[n^2] - E^2[n])) = 0,59$$

Economische veiligheidseisen

- Toepassen van het ALARA-principe.
- Maximaal rendement van geïnvesteerde veiligheidsgulden.
- Constructieve integriteit van de constructie; De constructieve integriteit van de tunnel mag niet in gevaar komen ten gevolge van een maatgevend incident. Dit om de exploitatie niet structureel in gevaar te brengen.

Veiligheidseisen t.a.v. perceptie gebruikers:

- Reizigers moeten binnen afzienbare tijd in de openlucht kunnen komen bij een evacuatie (vergelijk de anderhalf uur bij de Kanaal Tunnel).
- Reizigers moeten over voldoende informatie kunnen beschikken over de werking van het systeem en mogelijk vluchtroutes naar maaiveld (kinderen, ouderen, buitenlanders etc.).
- In geval van calamiteiten moet eenduidige informatie over de vervolghandelswijze bekend zijn, waardoor de kans op een succesvolle evacuatie maximaal wordt.
- De veiligheidsvoorzieningen moeten zichtbaar aanwezig zijn en het ontwerp moet enige robuustheid uitstralen.

Eisen van hulpverlenende diensten

- "Gouden uur" voor hulpverlening; In geval van een calamiteit moeten alle gewonden binnen één uur verwijderd zijn uit de levensbedreigende situatie en vervolgens gestabiliseerd worden.
- Maximale zelfredzaamheid in de tunnel; In geval van een calamiteit mag de gemiddelde reiziger in een trein met een 100 % bezetting niet in een levensbedreigende situatie terecht komen.

- De hulpverleners moeten veilig kunnen werken.

7.1.4 Veiligheidsmaatregelen

De verschillende mogelijke veiligheidsmaatregelen zijn geïnventariseerd. Onderscheid wordt gemaakt naar de veiligheidsmaatregelen die reeds in het referentie-ontwerp zijn opgenomen en de veiligheidsmaatregelen die vervolgens nader gekwantificeerd worden in hoofdstuk 5. Het kwantificeren van slechts een aantal veiligheidsmaatregelen is voldoende om de gevoeligheid van de verschillende typen maatregelen in de verschillende schakels van het systeem weer te geven. De veiligheidsmaatregelen die nader gekwantificeerd worden, zijn:

Schakel 1 veiligheidsketen: Pro-actie

- Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting
- Gebruik van brandwerende materiaal in de trein
- Intensieve training van personeel over handelen bij brand

Schakel 2 veiligheidsketen: Preventie

- Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers
- Automatische branddetectie in technische ruimtes

Schakel 3 veiligheidsketen: Preparatie

- Ventilatie
- Dwarsverbindingen om de 750 meter
- Dwarsverbindingen om de 500 meter
- Dwarsverbindingen om de 250 meter
- Schachten naar maaiveld
- Verlichting en markering van het vluchtkanaal
- Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties

Schakel 4 veiligheidsketen: Repressie

- Vergroten brandweercapaciteit in de regio
- Training van de hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel

Schakel 5 veiligheidsketen: Nazorg

- Ruime toegangswegen naar de ingang van de tunnel
- Gebruik van andere treinen voor reddingsdoelinden

7.2 Kwantificering risiconiveaus

In deze paragraaf wordt de kwantificering van de veiligheid in het referentie-ontwerp en de verschillende veiligheidsmaatregelen kort beschreven. Een uitgebreide kwantificering is opgenomen in deelrapport II.

De kwantificering vindt plaats door het uitvoeren van een risico-analyse, die de basis vormt voor het model voor integrale veiligheid. De risico-analyse vindt plaats aan de hand van een hoofdgebeurtenissenboom, waarin de essentiële gebeurtenissen zijn aangegeven.

Het kwantificeren vereist een aantal aannamen die zo realistisch mogelijk gekozen zijn en die tijdens de risico-analyse expliciet vermeld worden. Deze aannamen zijn tot stand gekomen op basis van informatie uit de literatuur, mondelinge informatie van experts of simpelweg een schatting van de auteur. De risico-analyse moet dan ook niet gezien worden als een harde weergave van de werkelijkheid.

De keuze van de aannamen is van grote invloed op de uiteindelijke uitkomsten van de risico-analyse. De risico-analyse tracht de gevoeligheid voor veiligheid van de verschillende systeemonderdelen weer te geven. Een uitgebreide risico-analyse van het systeem is daarom zeer nuttig en moet worden toegepast

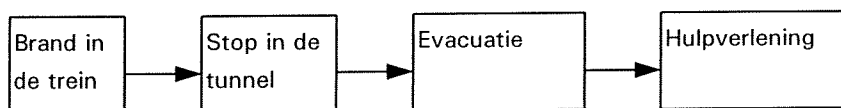
ter sturing van het ontwerpproces van de HSL-Zuid. De grove risico-analyse in dit hoofdstuk dient als ondersteuning voor het model van de integrale veiligheid.

7.2.1 Referentie-ontwerp

Het referentie-ontwerp omvat het integrale systeem van een trein die door een tunnel rijdt. Het referentie-ontwerp bestaat uit de subsystemen infrastructuur, verkeersleiding, procesvoering, beveiliging trein & baan en het rollend materieel. De infrastructuur bestaat uit twee enkelsporige boortunnels zonder dwarsverbindingen en in eerste instantie met een schacht naar maaiveld in het midden van de tunnel. De procesvoering is ingericht op het voorkomen van een stilstaande trein in de tunnel. De trein zal altijd trachten de tunnel uit te rijden.

De hoofdgebeurtenissenboom om de integrale veiligheid van het vervoerssysteem te kwantificeren is opgebouwd uit een aantal essentiële gebeurtenissen. Maatgevend is een brandende reizigerstrein die stil komt te staan in de tunnel. Een brand in de trein introduceert niet per definitie een stop in de tunnel onder het Groene Hart. Dit hangt af van factoren als detectie, blusmogelijkheden en de plaats van de trein op het tracé. Op het moment dat de trein tot stilstand komt in de tunnel worden de evacuatiemogelijkheden essentieel, waarna ook de hulpverleningsdiensten in actie komen.

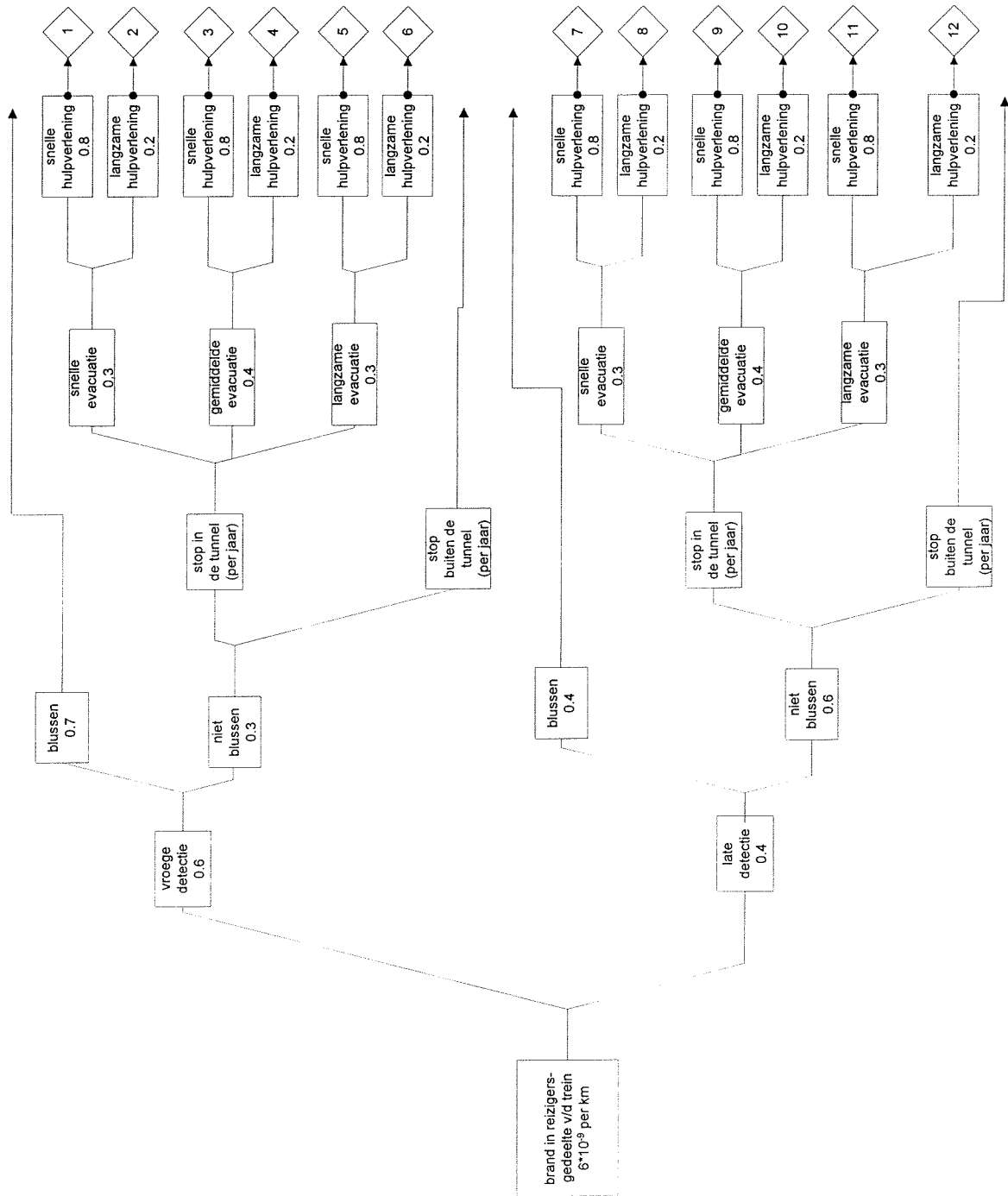
Voor de maatgevende begingebourtenis in de tunnel onder het Groene Hart zijn de volgende essentiële opeenvolgende gebeurtenissen te onderscheiden (zie figuur 7.1).



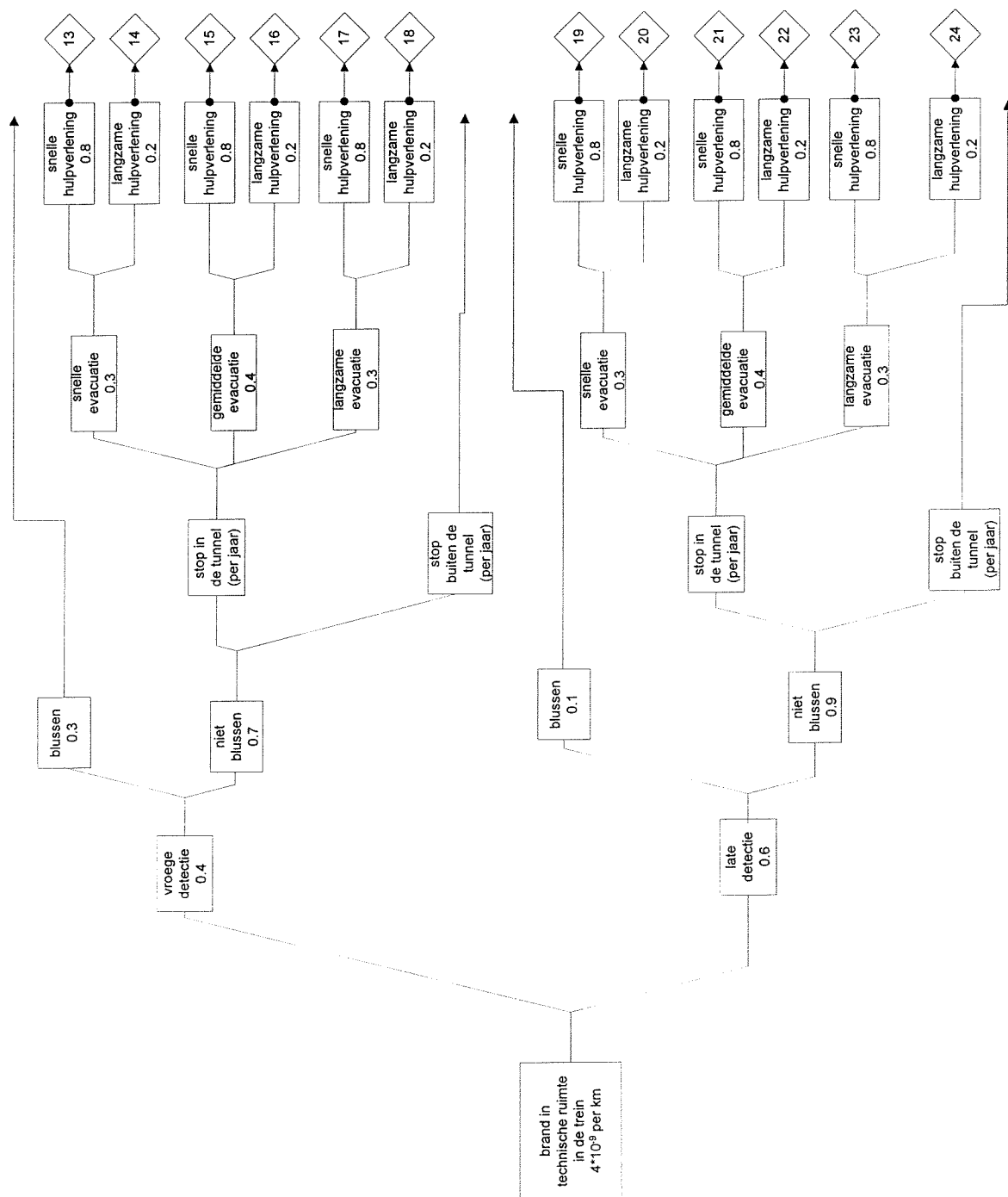
Figuur 7.1: Maatgevende essentiële gebeurtenissen

Deze verschillende essentiële gebeurtenissen worden verder uitgewerkt, waarna uiteindelijk het risico van een stilstaande brandende trein in de tunnel berekend wordt. In het model is gerekend met een maatgevende shuttle met 1.350 reizigers (100 % bezetting). Het resultaat is dat 24 verschillende brandscenario's ontstaan met verschillende kansen van optreden en een verschillend gevolg (zie figuur 7.2 & 7.3). In de gebeurtenissenboom wordt onderscheid gemaakt in brand in het reizigersgedeelte van de trein of in een technische ruimte van de trein.

Voor dit referentie-ontwerp met bovenstaande aannamen is de kans op een brandende trein in de tunnel onder het Groene Hart $3,5 * 10^{-3}$ per jaar.



Figuur 7.2: Uitgewerkte gebeurtenissenboom "Brand in reizigersgedeelte"



Figuur 7.3: Uitgewerkte gebeurtenissenboom "Brand in technische ruimte"

Het resultaat van de kwantificering van het referentie-ontwerp wordt gegeven in figuur 7.4.

De karakteristieke waarde is berekend met behulp van de volgende formules:

$$\mu = \sum_i (P_i * N_{d,i})$$

$$\sigma = \{\sum_i P_i * N_{d,i}^2\}^{0.5}$$

$$KW = \mu + 3 * \sigma$$

- μ = gemiddelde
- σ = standaardafwijking
- KW = Karakteristieke Waarde
- P_i = kans van optreden voor een scenario
- $N_{d,i}$ = aantal slachtoffers

Voor meer informatie zie ook bijlage I.0 in deelrapport III.

Scenario	Kans op brand in de trein (per treinkilometer)	Detectie (vroeg of laat)	Kans op mislukte blusactie	Fictieve kilometers tunnel	Evacuatie (snelle, gem. of langzame evacuatie)	Aantal dodelijke slachtoffers	Hulpverlening (snelle of langzame hulpverlening)	Reductie slachtoffers door hulpverlening	Kans van optreden van het scenario (P)	Totale gevolg (aantal dodelijke slachtoffers; N)		$P*N$	$P*N*N$
1	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1010	0,8	-60	8,338E-05	950		0,08	75,25
2	6E-09	0,6	0,3	321700	0,4	1180	0,2	-10	2,779E-05	1170		0,03	38,05
3	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1280	0,8	-60	8,338E-05	1220		0,10	124,11
4	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1010	0,2	-10	2,085E-05	1000		0,02	20,85
5	6E-09	0,6	0,3	321700	0,4	1180	0,8	-60	1,112E-04	1120		0,12	139,46
6	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1280	0,2	-10	2,085E-05	1270		0,03	33,62
7	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1010	0,8	-60	1,523E-04	950		0,14	137,42
8	6E-09	0,4	0,6	440600	0,4	1180	0,2	-10	5,076E-05	1170		0,06	69,48
9	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1280	0,8	-60	1,523E-04	1220		0,19	226,64
10	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1010	0,2	-10	3,807E-05	1000		0,04	38,07
11	6E-09	0,4	0,6	440600	0,4	1180	0,8	-60	2,030E-04	1120		0,23	254,68
12	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1280	0,2	-10	3,807E-05	1270		0,05	61,40
13	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1010	0,8	-60	1,379E-04	950		0,13	124,43
14	4E-09	0,4	0,7	512900	0,4	1180	0,2	-10	4,596E-05	1170		0,05	62,91
15	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1280	0,8	-60	1,379E-04	1220		0,17	205,20
16	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1010	0,2	-10	3,447E-05	1000		0,03	34,47
17	4E-09	0,4	0,7	512900	0,4	1180	0,8	-60	1,838E-04	1120		0,21	230,59
18	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1280	0,2	-10	3,447E-05	1270		0,04	55,59
19	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1010	0,8	-60	3,220E-04	950		0,31	290,63
20	4E-09	0,6	0,9	621200	0,4	1180	0,2	-10	1,073E-04	1170		0,13	146,94
21	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1280	0,8	-60	3,220E-04	1220		0,39	479,31
22	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1010	0,2	-10	8,051E-05	1000		0,08	80,51
23	4E-09	0,6	0,9	621200	0,4	1180	0,8	-60	4,294E-04	1120		0,48	538,61
24	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1280	0,2	-10	8,051E-05	1270		0,10	129,85
									gemiddelde				3,2
									standaardafwijking				60,0
									Karakteristieke Waarde				183,2

Figuur 7.4: Berekening risico's Gebeurtenissenbomen

Het resultaat is een Persoonlijk Risico voor de reizigers van 3,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. De Karakteristieke Waarde voor de reizigers is 183,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. Deze waarden gelden voor slechts één calamiteit, een brand in de trein, en zijn bovendien berekend aan de hand van een model dat zeer grof is opgebouwd.

7.2.2 Veiligheidsmaatregelen

Vervolgens is een aantal veiligheidsmaatregelen aan het referentie-ontwerp toegevoegd en is het effect op de risiconiveaus gekwantificeerd (de gekwantificeerde maatregelen zijn opgenomen in paragraaf 7.1.4 van dit deelrapport). De derde stap van de multidisciplinaire benadering is de interpretatie van de gekwantificeerde veiligheidsmaatregelen en een toetsing aan de verschillende veiligheidseisen (zie figuur 7.5).

	Pro-actie	Preventie	Preparatie	Repressie	Nazorg
A	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwerend materiaal • Training personeel 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 500 m • Verlichting & markering vluchtroute 	<ul style="list-style-type: none"> • Training hulpverleners in tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuatie met trein
B	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Branddetectie technische ruimtes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilatie • Schachten naar maaiveld • Dwarsverbindingen om 750 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> •
C	<ul style="list-style-type: none"> • Toezicht in de trein 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuurstofmaskers 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 250 m • Publieksvoorlichting noodsituaties 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergroten brandweercapaciteit 	<ul style="list-style-type: none"> •

Figuur 7.5: Ingevulde matrix voor modellering integrale veiligheid boortunnel Groene Hart

Het resultaat van deze interpretatie en toetsing aan de veiligheidseisen is een aanbeveling om een aantal maatregelen toe te voegen aan het referentie-ontwerp. Dit zijn het toepassen van brandwerend materiaal, een training van het treinpersoneel, dwarsverbindingen om de 500 meter, verlichting en markering van de vluchtroute, training van de hulpverlenende diensten in de tunnel en het gebruik van andere treinen voor de evacuatie van gevluchte reizigers (zie figuur 7.5).

Een kwantificering van de risiconiveaus van het referentie-ontwerp met aanvullende maatregelen levert een persoonlijk risico op van 0,023 slachtoffers per jaar en een Karakteristieke Waarde van 8,2 slachtoffers per jaar. Dit niveau van de Karakteristieke Waarde is voor deze enkele calamiteit al hoger dan de totale Karakteristieke Waarde voor de gehele HSL-Zuid van 2,3 slachtoffers per jaar.

Als toetsing van de kwantificering is ook het risiconiveau berekend bij hetzelfde referentie-ontwerp en de aanvullende maatregel met alleen dwarsverbindingen om de 750 meter. Het resultaat is een Persoonlijk Risico van 0,09 en een Karakteristieke Waarde van 24 slachtoffers per jaar.

De maatgevende treinbezetting van 1.350 reizigers is geen gemiddelde treinbezetting. De risiconiveaus zijn ook berekend bij een gemiddelde treinbezetting, een thalys van twee stellen met een 67 % bezetting (505 reizigers). Het resultaat is een Persoonlijk Risico van 0,006 slachtoffers per jaar en een Karakteristieke Waarde van 2,4 slachtoffers per jaar voor het gehele systeem. Dit niveau van de Karakteristieke Waarde nadert meer de normering voor de HSL-Zuid.

7.3 Integrale veiligheid boortunnel Groene Hart

In deelrapport II is een model weergegeven voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart. Deze paragraaf bevat de conclusies over de structuur van het model en de resultaten voor de implementatie van veiligheid in de boortunnel onder het Groene Hart. Daarnaast worden enige aanbevelingen gegeven om het model te verbeteren of om het effect van veiligheidsmaatregelen beter te kunnen waarderen.

7.3.1 Conclusies model

Het model voor een integraal veilig vervoerssysteem is tot stand gekomen op basis van het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid en de geformuleerde aanvullingen daarop (zie paragraaf 6.3).

- Het onderscheid in veiligheidseisen, een referentie-ontwerp en veiligheidsmaatregelen vergroot het inzicht in de effectiviteit van de maatregelen en geeft een duidelijke structuur aan de veiligheidsproblematiek.
- Het toepassen van een integraal referentie-ontwerp en een continue toetsing van de integraliteit vormt een eerste aanzet om een vroegtijdige versmalling en suboptimalisatie van het probleem te voorkomen.
- Het model maakt duidelijk dat veiligheidsmaatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen een relatief groot rendement hebben.
- De uitwerking van het model en de bijbehorende aannamen zijn dusdanig grof dat een gedetailleerde kwantificering van het rendement van de veiligheidsmaatregelen nog niet mogelijk is.
- Het onderscheid tussen het Persoonlijk Risico en Karakteristieke Waarde wordt in het model nog onvoldoende tot uiting gebracht.
- De hoeveelheid treinreizigers in de trein heeft een grote invloed op de uiteindelijke waarde van de risiconiveaus. De keuze voor een maatgevende trein met 1.350 reizigers is dan ook niet representatief voor de werkelijkheid.
- De interpretatie van de verschillende veiligheidsmaatregelen toont een belangrijk onderscheid in het gekwantificeerde rendement en de toetsing aan de verschillende veiligheidseisen.
- De schatting van 10 minuten van het ontstaan van de brand tot het falen van een essentieel onderdeel is enigszins conservatief. In de werkelijkheid zal een concept van stoppen buiten de tunnel een grotere bijdrage leveren aan de veiligheid.

7.3.2 Conclusies veiligheid

In deze paragraaf zijn de conclusies voor de veiligheid van de boortunnel onder het Groene Hart samengevat. Deze conclusies zijn geformuleerd op basis van de uitkomsten uit het model met de multidisciplinaire benadering voor de veiligheid.

- Het risiconiveau voor het referentie-ontwerp met de aanvullende veiligheidsmaatregelen bij een brandende trein in de tunnel onder het Groene Hart is hoger dan het totale risiconiveau voor de gehele HSL-Zuid.
- Bij het ontwerpen van een vervoerssysteem zoals de HSL-Zuid is het opnemen van veiligheidsmaatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen het meest effectief, zowel probabilistisch als in de perceptie van de gebruikers.
- Het rendement van de hulpverlening voor de reductie van het aantal slachtoffers is niet zeer groot. Het effect van de hulpverlening op nazorg van de reizigers is echter groot en in dit model weinig belicht.
- Het onderscheid tussen ongevallen met 1.000, 1.200 of 800 doden is niet relevant voor de perceptie van de maatschappij over de veiligheid van het systeem.
- Het toepassen van een "safety haven" is niet effectief door de relatief korte lengte van de tunnel.
- Het streven naar een gecontroleerde stop levert een aanzienlijke reductie in de kans op een stilstaan van de brandende trein in de tunnel.
- Het reduceren van de brandkans per treinkilometer lijkt een zeer effectieve en rendabele maatregel om de veiligheid sterk te vergroten.
- In de gevolgenbestrijding is maximale zelfredzaamheid de belangrijkste sturende parameter.
- Een jaarlijkse training van treinpersoneel over hoe te handelen bij calamiteiten is een veiligheidsmaatregel die aanbevolen wordt.

- Het effectief gebruik van een ventilatiesysteem is per situatie sterk verschillend, waardoor de betrouwbaarheid sterk afhangt van de specifieke omstandigheden.
- Het toepassen van dwarsverbindingen om de 750 meter lijkt voor de probabilistische berekening acceptabel maar op basis van zelfredzaamheid voor de reizigers is aan te bevelen om de dwarsverbindingen om de 500 meter aan te leggen. Een mogelijke toekomstige uitbreiding in de exploitatie onderbouwt deze keuze.
- Het toepassen van verlichting en ergonomische markering van de vluchtroute is een maatregel met een hoge effectiviteit door de geringe investeringen en de bijdrage aan de zelfredzaamheid van de reizigers.
- Het trainen van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel is essentieel voor de uiteindelijke effectiviteit van de hulpverlening.
- In het calamiteitenplan voor de boortunnel onder het Groene Hart dient een gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden opgenomen te worden.

7.3.3 Aanbevelingen

Op basis van het opgestelde model en daaruit volgende conclusies, is een aantal aanbevelingen geformuleerd. Dit zijn aanbevelingen ter verbetering en aanvulling van het model en aanbevelingen voor nader onderzoek naar veiligheidsmaatregelen met een groot rendement voor de veiligheid van de boortunnel.

- Een gedetailleerde analyse van de belangengroepen moet uitgevoerd worden om de veiligheidseisen duidelijk geformuleerd te krijgen waardoor toetsing van het ontwerp aan de eisen mogelijk wordt.
- De aannamen in het model voor de rookontwikkeling in de tunnel, het effect van de rook op de reizigers en het moment van starten van evacuatie dienen met een studie beter onderbouwd te worden.
- In het model moet ook het effect op de veiligheid van botsing, ontsporing en aanrijding getoetst worden.
- De eisen en verwachtingen die gesteld worden aan hulpverleners dienen duidelijk geformuleerd te worden. Voor de hulpverleners moet duidelijk worden vanaf welk type calamiteit een effectieve inzet niet meer verwacht en geëist wordt door de maatschappij.
- Een nader onderzoek naar het rendement en de betrouwbaarheid van een ventilatiesysteem in combinatie met schachten naar maaiveld dient uitgevoerd te worden.
- Het verlagen van de brandkans is een veiligheidsmaatregel met een grote effectiviteit en de mogelijkheden hiertoe zullen dan ook nader onderzocht moeten worden.

8 Integrale veiligheid spoortunnels

In dit hoofdstuk is het resultaat van het afstudeeronderzoek samengevat in een aantal conclusies, aanbevelingen en stellingen. De conclusies zijn onderverdeeld in algemene conclusies, conclusies naar aanleiding van de analyses van de infrastructurele projecten in deelrapport III, conclusies ten aanzien van integrale veiligheid en specifieke conclusies voor de boortunnel onder het Groene Hart. Tot slot wordt afgesloten met enige aanbevelingen en stellingen.

8.1 Algemene conclusies

- De acceptatie en het vertrouwen van de betrokken partijen stijgt als de gehanteerde veiligheidsfilosofie eenvoudig en eenduidig uitlegbaar is.
- Voor de juiste beoordeling van veiligheid is het van groot belang om de complexiteit van veiligheid in het ontwerpproces weer te geven. Besluitvormende partijen kunnen op basis hiervan een gefundeerde beslissing nemen.
- Een systematische beoordeling van veiligheid in het ontwerp vereist een multidisciplinaire aanpak, waarbij de veiligheid integraal over het gehele systeem beoordeeld en beheerst wordt.
- De veiligheid van een systeem is multidisciplinair en is daardoor niet in één norm uit te drukken, maar alleen in meerdere consistente normen.
- Het ontwerpen van een nieuw vervoerssysteem biedt grote mogelijkheden om de veiligheid structureel te verankeren in de eerste schakels van de veiligheidsketen.

8.2 Conclusies analyses infrastructurele projecten

Deelrapport III bevat de analyses van de veiligheid bij de Willemspoortunnel in Rotterdam, de Westerschelde Oeververbinding, de Störebelttunnel in Denemarken, de Channel Tunnel Rail Link in Engeland en de Kanaaltunnel tussen Frankrijk en Engeland. In deze paragraaf worden de relevante conclusies voor de veiligheid van de HSL-Zuid samengevat.

- Een volledig computergestuurd bedieningssysteem met een overschakeling naar handbediening introduceert een groot risico door het vertrouwen op menselijk handelen in crisissituaties (Willemspoortunnel).
- Het gebruik van 7 optimale noodscenario's voor 7 verschillende calamiteiten draagt niet bij aan de duidelijkheid en overzichtelijkheid voor de hulpverlening en is daardoor niet maximaal effectief (Willemspoortunnel).
- Voor de besluitvorming rondom veiligheid is het opzetten van een breed raamwerk noodzakelijk met daarin opgenomen een geaccepteerde verhouding tussen de investering in veiligheidsmaatregelen en het aantal bespaarde mensenlevens (Westerschelde Oeververbinding).
- Bij het ontwerpen van een tunnel dient rekening gehouden te worden met eventuele toekomstige aanpassingen in het gebruik (Westerschelde Oeververbinding).
- Veiligheid dient vanuit meerdere invalshoeken benaderd te worden, zowel probabilistisch als deterministisch (Störebelttunnel).
- Belangrijke veiligheidsbeslissingen dienen vroegtijdig in het ontwerp genomen te worden (Störebelttunnel).
- Een regelmatige training van personeel en hulpverleningspartijen door het uitvoeren van calamiteitenoefeningen tijdens de exploitatiefase van een project is zeer zinvol (Störebelttunnel).

- De betrouwbaarheid van menselijk handelen is sterk afhankelijk van de beschikbare tijd. Foutenbomen zijn volgens Eurotunnel niet voldoende ingericht om met dit soort functies om te gaan (Kanaaltunnel).
- De publieke perceptie over de veiligheid van een project is zeer belangrijk en mag absoluut niet discutabel zijn (Kanaaltunnel).
- De brand in de Kanaaltunnel toont dat de beschikbaarheid van informatie bij brandweer, controlecentrum en treinpersoneel een cruciale schakel vormt voor de veiligheid.
- Het individueel risico voor reizigers in de Kanaaltunnel wordt geacht vergelijkbaar te zijn met het individueel risico op een vergelijkbaar baanvak.
- De normen voor de Channel Tunnel Rail Link maken onderscheid in risiconiveaus voor internationale reizigers en voor binnenlandse forensen.
- Voor een optimaal veilig ontwerp is de samenhang tussen de procesvoering, de voorgestelde noodprocedures en de infrastructurele voorzieningen essentieel. (Channel Tunnel Rail Link)
- Voor een economisch ontwerp worden veiligheidsnormen en het ALARA-principe tegelijkertijd toegepast en is het ALARA-principe maatgevend bij een conflicterende situatie. (Channel Tunnel Rail Link)

8.3 Conclusies integrale veiligheid

In paragraaf 6.3 van dit deelrapport is een aantal aanvulling geformuleerd voor het Integraal Veiligheids-Plan HSL-Zuid. In deze paragraaf worden de conclusies ten aanzien van integrale veiligheid kort weergegeven.

- Het aspect veiligheid dient op drie niveaus in het ontwerpproces geïmplementeerd te worden: Eenduidige veiligheidseisen, veiligheidsoplossingen en een geaccepteerde toetsingsmethodiek.
- Een multidisciplinaire benadering van veiligheid bestaat uit drie onderdelen: Een analyse van de belangen van de betrokken partijen en de daaruit voortvloeiende veiligheidseisen. Een probabilistische analyse van een integraal referentie-ontwerp en van mogelijke aanvullende veiligheidsmaatregelen. Een interpretatie van de effectiviteit van de veiligheidsmaatregelen ten aanzien van de gestelde veiligheidseisen.
- Voor een optimaal veilig ontwerp is een integrale systeembenadering noodzakelijk waarbij veiligheidsmaatregelen in alle afzonderlijke deelsystemen worden overwogen.
- Bij het opstellen van een veiligheidsnormering is een onderscheid tussen de onderbouwing van de normering en de toetsing van de normering essentieel.
- Voor subsystemen, zoals de infrastructuur, is het van groot belang om zoveel mogelijk te anticiperen op toekomstige ontwikkelingen en de bijbehorende eisen aan het systeem.

8.4 Conclusies boortunnel Groene Hart

De veiligheidsfilosofie voor HSL-Zuid is uitgewerkt voor de boortunnel onder het Groene Hart. Deze paragraaf geeft de conclusies voor de veiligheid in hoofdlijnen weer. Voor conclusies over de specifieke veiligheidsmaatregelen of de onderlinge effectiviteit wordt verwezen naar paragraaf 7.3 van dit deelrapport.

- Voor de veiligheid tijdens exploitatie van de tunnel onder het Groene Hart vormt brand in de trein het maatgevend incident.
- Het individueel risico moet evenredig verdeeld worden over het traject, vanuit de gedachte dat de maatschappij de plicht heeft om de veiligheid van de individuele gebruiker op ieder moment te kunnen waarborgen.
- Een evenredige verdeling van de Karakteristieke Waarde over het traject is aan te bevelen, waarbij duidelijk aangegeven dient te worden wat de consequenties van dit uitgangspunt zijn. Een duidelijke

weergave en onderbouwing van de verschillende eisen en consequenties vormt de informatie op basis waarvan besluitvormende partijen een integrale afweging kunnen maken. Het aspect veiligheid dient een onderdeel te zijn van deze integrale afweging.

- Het hoofddoel bij een calamiteit in de tunnel is voor een reizigerstrein heel duidelijk en moet in alle procedures en voorzieningen de boventoon voeren. Het doel om de reizigers zo snel mogelijk veilig uit de tunnel te krijgen, wordt bij voorkeur bereikt met de trein, indien onmogelijk zonder trein. Het duidelijk weergeven van triviale stappen verkleint de kans op chaos en verwarring.

8.5 Aanbevelingen

Ter afsluiting is een tweetal aanbevelingen geformuleerd:

- De norm voor het maatschappelijk risico voor de HSL-Zuid dient aangepast te worden van een Karakteristieke Waarde van 2,3 naar een Karakteristieke Waarde van 14,8 slachtoffers per jaar voor het gehele systeem.
- Veiligheid dient continu integraal over het gehele systeem en multidisciplinair benaderd te worden om een optimaal ontwerp te krijgen dat door alle partijen geaccepteerd wordt.

8.6 Stellingen

- Hoe belangrijk de discussie over de veiligheid van de boortunnel ook is. Op korte termijn moet overeenstemming bestaan tussen de betrokken partijen, desnoods met een maximale investering in de veiligheid. De boortunnel onder het Groene Hart ligt op het kritieke pad voor het totale traject en een vertraging van het ontwerpproces heeft grote gevolgen voor het totale project.
- De koppeling tussen vergunningverlening en hulpverlening is niet logisch. Hulpverleners kijken naar één onderdeel van de veiligheid, de gevolgenbeheersing. Een optimaal ontwerp vereist een integrale benadering van het systeem.

9 Literatuur

- [AEA Technology, augustus 1996]
Ir. S.M. Geervliet, AEA Technology Netherlands B.V
Literatuurstudie Beveiligingsconcept Ondergrondse Bouwwerken, ref: AEA/COB/18495018/1
augustus 1996
- [AEA Technology, november 1996]
Ir. C.M. Pietersen, AEA Technology Netherlands B.V
Contra-expertise Westerscheldetunnel, ref: AEA/RWS/18396001/1
november 1996
- [Alert, december 1997]
Peter Huygaerts, Alert nr. 12 1997
Vervoer gevaarlijke stoffen door tunnels; Leemte in het beleid zorgt voor discussie
12 december 1997
- [BiZa, 1997]
Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding
Beveiligingsconcept Spoorwegtunnels uitsluitend bestemd voor goederenvervoer
1997
- [Bouwdienst RWS, april 1997]
Werkgroep crashactie veiligheid Westerschelde Oeververbinding
Eindrapportage Veiligheid Westerscheldetunnel
april 1997
- [Brascamp, februari 1998]
ir. M. Brascamp, PHZI-BBT-team
RAMS-EISEN voor BBT-Beveiliging HSL-Zuid (in bewerking)
27 februari 1998
- [Camp & Erens, 1996]
Peter Camp & Funs Erens
De gekookte kikker, meer dan 200 metaforen over organisatieverandering
1996
- [Cement, oktober 1996]
Ing. G. Kooijman, Bouwdienst Rijkswaterstaat, afdeling Tunnelbouw
Westerscheldetunnel,
Artikel Cement oktober 1996
- [Cement, november 1997]
Colin J. Kirkland, OBE F. Eng
De brand in de kanaaltunnel
Artikel Cement november 1997

- [COB & BiZa, november 1997]
CUR/COB & Ministerie van Binnenlandse Zaken, N120, Taakgroep Literatuuronderzoek
“Beveiligingsconcept ondergrondse bouwwerken”, literatuurrapport
14 november 1997
- [COB Nieuws, september 1997]
drs. ing. E.J. Verweij, COB Nieuws, nummer 14
Elk bouwproject ingaan met beveiligingsconcept
september 1997
- [CUR 190, maart 1997]
Prof.dr.s.ir. J.K. Vrijling e.a., Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR)
Kansen in de civiele techniek, Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie
maart 1997
- [CUR N 110, april 1997]
ir. T. Wiersma & ir. M. Molag, TNO-MEP-R 97/156
Invloed veiligheidsvoorzieningen van tunnels op de risico's voor gebruikers en constructie
april 1997
- [Dyke, november 1994]
A.P. Dyke, Chairman of Design and Construction Safety Group, Union Railways Limited, UK
Outline Railway Safety Case Overview
november 1994
- [Eurotunnel, 1994]
Eurotunnel Exhibition Centre, E676
The Channel Tunnel, A Safety Case
1994
- [Evans, februari 1998]
Prof. Andrew Evans, World Conference on Safety of Transportation, Delft
The appraisal of safety in the Channel Tunnel
18-20 februari 1998
- [Geyer, april 1995]
T.A.W. Geyer, Safety in Road and Rail, Granada, Spain
Channel Tunnel Safety Case; Quantitative Risk Analysis Methodology
3-6 april 1995
- [Griffioen, december 1995]
drs. E. Griffioen & ing J. Stuifmeel, Railed Spoorwegveiligheid
Tunnelstudie HSL, risico-analyse/faal-analyse
19 december 1995

- [Gundersen, juni 1997]
Erik Gundersen, The Great Belt Link Ltd., Two Day Seminair "Escape from trains"
The Great Belt - Escape from trains in tunnels
9 - 10 juni 1997
- [Hall, november 1992]
A. Hall & G. Fudger, Safety in Road and Rail, Basel, Switzerland
Regulation of safety in the Channel Tunnel
23-25 november 1992
- [Heesterbeek, december 1995]
ir. J. M. Heesterbeek, Holland Railconsult, vakgroep tunnelinstallaties
VA A&B - Tunnelstudie HSL
5 december 1995
- [Hendriks, oktober 1997]
P.J.C. Hendriks, Railed Capaciteitsplanning
HSL-Zuid, Exploitatieve uitgangspunten (Voorheen werkhypothese)
22 oktober 1997
- [Hengel van, oktober 1995]
ir. W. van Hengel, Bouwdienst Rijkswaterstaat, afdeling Risico-analyse
HSL, Veiligheidsvergelijking
19 oktober 1995
- [Houben, januari 1998]
ir. R.J. Houben, Projectdirectie Hogesnelheidslijn-Zuid
Memo over normen voor veiligheid tunnels
21 januari 1998
- [Ingenieur, mei 1997]
Ir. Frank Biesboer, De Ingenieur nr. 9 - 21
De democratisering van de risicoberekening, niet alleen ratio bepaalt het risico, omslagartikel
mei 1997
- [Jones, april 1995]
Cliff Jones, Safety in Road and Rail, Granada, Spain
Safety Case Approaches; The Channel Tunnel Safety Case
3-6 april 1995
- [Kampmann, oktober 1997]
J. Kampmann and A. Rasmussen, Denmark; Congres Zurich "Safety of Persons in the Operation of Long Railway Tunnels - discussion of concepts for the operating phase"
Størebelt Tunnel - Risk Analysis and Rescue Concept
17 oktober 1997

- [Kleinhans, februari 1998]
M.J.M. Kleinhans, Railned
Brandende trein in groene hart-tunnel, Procesbeschrijving, concept
26 februari 1998
- [Koppenjan, februari 1997]
J.F.M. Koppenjan
Veiligheid en de besluitvorming over de Willemspoortunnel
16 februari 1997
- [Leighton, april 1995]
Chris Leighton & Ken Harvey & Vic Stevens, Union Railways Limited, UK
Safety in Road and Rail Tunnels: Tunnel safety provisions for the new Channel Tunnel Rail Link
Second International Conference Granada, Spain, 3rd - 6th April 1995
- [Lloyd's Register, februari 1997]
Prof. Ir. E. Horvat e.a., Lloyd's Register
Beoordeling veiligheidsaspecten (gebruiksfase) Westerscheldetunnel
28 februari 1997
- [Lloyd's Register, april 1997]
Prof. Ir. E. Horvat e.a., Lloyd's Register
Advies met betrekking tot de veiligheidsmaatregelen (gebruiksfase) Westerscheldetunnel
29 april 1997
- [Metcalf, oktober 1997]
Ray Metcalfe & Peter Stevenson, Rail Link Engineering
Mondelinge & Schriftelijke informatie over Channel Tunnel Rail Link, gegeven aan Harry Snel
6 oktober
- [Modern Railways, mei 1997]
Modern Railways, pg 286-288
Eurotunnel's fateful night, What actually happened
mei 1997
- [Morris, april 1995]
Richard Morris, Safety in Road and Rail, Granada, Spain
Safety in Eurotunnel
3-6 april 1995
- [Noulton, oktober 1997]
John Noulton, UK, Safety of Persons in the Operation of Long Railway Tunnels, Zurich
The Channel Tunnel - Why a Service Tunnel?
17 oktober 1997

- [NS, november 1993]
Nederlandse Spoorwegen
Rail 21 Sporen naar een nieuwe eeuw: Veiligheidsplan spoortunnel Rotterdam
november 1993
- [Ondergrondse Overwegen, december 1993]
Ondergrondse Overwegen
Eindrapport van de Stuurgroep Ondergrondse Vervoers-Infrastructuur
december 1993
- [PHZ, september 1997]
Projectgroep Integraal Veiligheids Plan
Sturen op veiligheid, eindrapport fase 1, Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid.
september 1997
- [PHZI, november 1996]
Staf Communicatie HSL-Zuid Infra
Wegwijzer HSL-Zuid Infra
november 1996
- [PHZI, september 1997]
ir. R.J. Houben, Projectorganisatie HSL-Zuid Infra
Risicobeheersing ontsporing Kwalitatieve analyse, concept versie 3
22 september 1997
- [PHZI, februari 1998]
Projectorganisatie HSL-Zuid Infra
Vergadering Stuurgroep veilige tunnels
17 februari 1998
- [Railned, november 1997]
Railned Spoorwegveiligheid, Ing. J.P.J. Hendriks
Spoorwegveiligheidsplan 1998 - 2002, versie 1.0a
november 1997
- [Rayner, juni 1997]
Mike Rayner, EQE International Ltd, Two Day Seminar "Escape from trains"
Cost and effectiveness of railway safety management
9 - 10 juni 1997
- [Regt de, januari 1998]
ir. J.T.M. de Regt, NS Materieel Engineering
Brondocument Evacuatietijden Materieel HSL-Zuid, reizigerscapaciteit, in- en uitstapcapaciteit
9 januari 1998, versie 1.1

- [Stiksma, 1992]
Kees Stiksma, onder auspiciën van Bouwdienst Rijkwaterstaat, afdeling Tunnelbouw
Tunnels in Nederland, ondergrondse transportschakels
1992
- [Stuifmeel, april 1997]
Ing. J. Stuifmeel, Railned Spoorwegveiligheid
Brand in treinen; Gegevens t.b.v. veiligheidsanalyse HSL-Zuid tunnel onder het Groene Hart
11 april 1997
- [Stuifmeel, november 1997]
Ing. J. Stuifmeel, Railned Spoorwegveiligheid
Lunchlezing "Brand in de Kanaaltunnel"
19 november 1997
- [TNO, oktober 1982]
D. v.d. Brand & O.M.P. Kok, TNO industriële veiligheid
Samenvatting van het rapport "Voorstudie kwalitatieve risicobeschoouwing Willemspoortunnel"
oktober 1982
- [TNO Bouw, juni 1995]
A.C.W.M. Vrouwenvelder & J.K. Vrijling, TNO Bouw 95-CON-RO851
Normstelling acceptabel risiconiveau
juni 1995
- [TNO MEP, april 1997]
T. Wiersma & W.F. Schmidt & M. Molag, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, R 97/117
N120 Taakgroep Onderzoeksvragen, Identificatie van onderzoeksvragen op basis van scenario's, maatregelen en voorzieningen met betrekking tot calamiteiten in ondergrondse bouwwerken
april 1997
- [TNO MEP, juli 1997]
M. Molag & C.M.A. Jansen, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, R 97/221
HSL-Zuid, Analyse Veiligheid Tunnel, Fase 2A: Kwalitatieve risico-analyse tunnelvarianten
juli 1997
- [Vrijling & Stoop, januari 1998]
Prof. ir. drs J.K. Vrijling & dr. ir. J. Stoop
De Rijkwaterstaat, kansrekening en veiligheid
januari 1998
- [Wessels, februari 1998]
ir. J.F.M. Wessels, World Conference on Safety of Transportation, Delft
Safety Considerations for Road Tunnels
18-20 februari 1998

- [Wijnands, februari 1998]
ir. M.N.J.H. Wijnands, PHZI
Veilige tunnels; Een balans tussen voorkomen, redden en bestrijden, concept
2 februari 1998
- [Zijdemans, februari 1998]
ir. P.C.K. Zijdemans & ir. E. Tolner, NS Materieel Engineering
Systeembeschrijving materieel, eerste stap, concept
17 februari 1998

Integrale veiligheid spoortunnels

Deel II: Boortunnel Groene Hart

Datum	8 mei 1998
Ons kenmerk	-
Bestand	RISIC17.DOC
Opsteller	B.P. Smolders
Status	Eindrapport
Fase	4
Gecontroleerd	-
Goedgekeurd	-
Geautoriseerd	-

Projectorganisatie
Hogesnelheidslijn-Zuid
Infra
Postadres:
Postbus 2025
3500 HA Utrecht
Bezoekadres:
Catharijnesingel 33
Utrecht
Tel 030 - 272 84 00
Fax 030 - 272 84 44

Een olifant met manieren

“Voor de aanleg van nieuwe of bredere wegen en grote verkeerspleinen zijn miljarden guldens uitgetrokken. De porseleinkast van de infrastructuur wordt zo gemaakt dat de olifant er geen kwaad kan doen. Maar het kan geen kwaad om te proberen de olifant wat manieren bij te brengen.” [Camp & Erens, 1996]

Voorwoord

Na vijf en een half jaar studie aan de Faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft heeft u het resultaat in handen van één van mijn laatste activiteiten als student. Dit rapport vormt het tweede deelrapport van de eindrapportage van mijn afstudeeronderzoek dat mede mogelijk is gemaakt door NS Railinfrabeheer. Namens NS Railinfrabeheer heb ik stage gelopen bij de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra in Utrecht.

In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra wordt op dit moment hard gewerkt aan het ontwerp van de infrastructuur voor de HSL-Zuid, die in 2005 gereed zal moeten zijn. In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra werken NS Railinfrabeheer, Holland Railconsult en DHV Milieu en Infrastructuur samen onder verantwoordelijkheid van de Ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM.

De rapportage van het afstudeeronderzoek bestaat uit drie deelrapporten die min of meer onafhankelijk van elkaar gelezen kunnen worden. Het eerste deelrapport vormt het hoofdrapport waarin de gehanteerde veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid getoetst en uitgewerkt is voor de boortunnel onder het Groene Hart. Het tweede deelrapport is toegespitst op de boortunnel en bevat de specifieke uitwerking van de veiligheidsfilosofie naar veiligheidsoplossingen. Het derde deelrapport bevat de gedetailleerde analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten op basis waarvan de veiligheidsfilosofie in het eerste deelrapport is getoetst. In dit laatste deelrapport kunt u ook de overige achtergrondinformatie vinden.

Ik hoop dat u na het lezen van dit deelrapport begrijpt wat integrale veiligheid concreet betekent voor de boortunnel onder het Groene Hart.

Bart Smolders
Utrecht, 8 mei 1998

Voorliggende rapportage is het resultaat van een afstudeeronderzoek bij de Faculteit Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderzoek is namens NS Railinfrabeheer uitgevoerd bij de Projectorganisatie HSL-Zuid Infra. De auteur of één van bovengenoemde organisaties neemt geen enkele verantwoordelijkheid voor de uitwerking of interpretatie van de gepresenteerde resultaten.

Samenvatting

Dit deelrapport vormt samen met de overige twee deelrapporten de rapportage van het afstudeeronderzoek naar de veiligheid voor reizigers in spoortunnels. Dit tweede deelrapport is toegespitst op de veiligheid van de boortunnel onder het Groene Hart. Het afstudeeronderzoek heeft als titel "Integrale veiligheid spoortunnels" en heeft, namens NS Railinfrabeheer, plaatsgevonden bij het Projectbureau Hogesnelheidslijn-Zuid Infra. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft en is begeleid door een afstudeercommissie. De afstudeercommissie bestaat uit Prof.dr.s.ir. J.K. Vrijling (Vakgroep Waterbouwkunde, Civiele Techniek); Prof.ir. E. Horvat (Sectie Ondergronds Bouwen, Civiele Techniek); Dr.ir. J.A.A.M. Stoop (Techniek, Bestuur en Maatschappij); Drs. H.H. Snel (NS-Railinfrabeheer) en ir. W. van Hengel (Bouwdienst Rijkswaterstaat).

Het doel van dit afstudeeronderzoek is het optimaal integreren van een onderbouwde veiligheidsfilosofie in het ontwerp van de tunnel onder het Groene Hart ten behoeve van de HSL-Zuid. In deelrapport I is de veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid vergeleken met de veiligheid bij andere infrastructurele projecten. Het resultaat van deze vergelijking vormt de basis voor de methodiek waarmee in dit tweede deelrapport II de veiligheid voor de boortunnel onder het Groene Hart nader wordt uitgewerkt. Het derde deelrapport bevat de analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten en enige overige achtergrondinformatie.

In dit deelrapport II is een model opgesteld voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de boortunnel onder het Groene Hart aan de hand van de multidisciplinaire benadering. Deze benadering start met een uitgebreide analyse van de belangen van de verschillende betrokken partijen. Een tweede stap in de multidisciplinaire benadering is de probabilistische analyse van het integrale vervoerssysteem. De derde en de belangrijkste stap is de interpretatie en uitwerking van de eisen in de probabilistische analyse van het systeem. Voor een integrale benadering van veiligheid is een systeembeschrijving over alle systeemdelen van het referentie-ontwerp van groot belang. Dit om te voorkomen dat reeds in een beginstadium van het proces de oplossingsruimte wordt gereduceerd tot alleen het infrastructuurgedeelte van het systeem. In eerste instantie wordt een referentie-ontwerp geformuleerd waarvan het risiconiveau wordt gekwantificeerd. Vervolgens is het effect van een aantal veiligheidsmaatregelen gekwantificeerd. De verschillende veiligheidsmaatregelen worden onderverdeeld naar de verschillende schakels in de veiligheidsketen, zoals die door het Ministerie van Binnenlandse Zaken zijn geïntroduceerd. Deze keten bestaat uit de schakels Pro-actie, Preventie, Preparatie, Repressie en Nazorg. Het uiteindelijke resultaat van de gehanteerde modellering wordt weergegeven in een matrix met daarin de verschillende schakels van de veiligheidsketen en de veiligheidsmaatregelen.

Voor de modellering van de integrale veiligheid in het vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart is gekozen om slechts één begingebourtenis in de risico-analyse van het referentie-ontwerp mee te nemen. Een brandende trein is als maatgevende begingebourtenis aangehouden voor de veiligheid van de gebruikers. Bij deze calamiteit bestaat direct gevaar voor de reizigers door de beperkte beschikbare tijd voor evacuatie door de rookontwikkeling en de hoge temperatuur. Indien het systeem voldoende effectief is om deze calamiteit het hoofd te bieden, wordt aangenomen dat dit ook geldt voor minder kritische calamiteiten, zoals botsing en ontsporing.

Het proces is uitgewerkt aan de hand van vier essentiële gebeurtenissen: Brand in de trein, stop in de tunnel, evacuatie en hulpverlening. Voor het referentie-ontwerp is de kans op een brandende trein die in de tunnel onder het Groene Hart tot stilstand komt $3,5 \cdot 10^{-3}$ per jaar. Het resultaat van de volledige kwantificering is een Persoonlijk Risico (PR) voor de reizigers van 3,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. De Karakteristieke Waarde (KW) voor de reizigers is 183,2 slachtoffers per jaar. Het effect van een aantal veiligheidsmaatregelen is gekwantificeerd en is het resultaat geïnterpreteerd en getoetst aan de veiligheidseisen. De veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie groepen: Veiligheidsmaatregelen die worden aanbevolen (groep A), veiligheidsmaatregelen die eventueel in het ontwerp opgenomen kunnen worden (groep B) en veiligheidsmaatregelen die niet worden aanbevolen door het te lage rendement of de te lage betrouwbaarheid (groep C) (zie figuur A).

	Pro-actie	Preventie	Preparatie	Repressie	Nazorg
A	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwerend materiaal • Training personeel 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 500 m • Verlichting & markering vluchtroute 	<ul style="list-style-type: none"> • Training hulpverleners in tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuatie met trein
B	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Branddetectie technische ruimtes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilatie • Schachten naar maaiveld • Dwarsverbindingen om 750 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> •
C	<ul style="list-style-type: none"> • Toezicht in de trein 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuurstofmaskers 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 250 m • Publieksvoorlichting noodsituaties 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergroten brandweercapaciteit 	<ul style="list-style-type: none"> •

Figuur A: Ingevulde matrix voor modellering integrale veiligheid boortunnel Groene Hart

Aanbevolen wordt om brandwerend materiaal in de treinen toe te passen, een jaarlijkse training van het treinpersoneel, dwarsverbindingen om de 500 meter, verlichting en markering van de vluchtroute, training van de hulpverlenende diensten en het gebruik van andere treinen voor de evacuatie. Toepassing van deze maatregelen levert een PR van 0,023 slachtoffers per jaar en een KW van 8,2 slachtoffers per jaar. Voor de veiligheid van de boortunnel blijken maatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen maximaal effectief te zijn en in de gevolgenbeheersing is maximale zelfredzaamheid de belangrijkste sturende parameter.

Het risiconiveau voor het referentie-ontwerp met de aanvullende veiligheidsmaatregelen is hoger dan het risiconiveau voor de gehele HSL-Zuid en uit het model blijkt dat het toepassen van een "safety haven" niet effectief is door de relatief korte lengte van de tunnel. Aanbevolen wordt om de veiligheidseisen gedetailleerd uit te werken en om de eisen en verwachtingen die gesteld worden aan hulpverleners duidelijk te formuleren.

Inhoudsopgave

Voorwoord		ii
Samenvatting		iv
1	Inleiding	3
2	Plan van aanpak	5
	2.1 Doelstelling	5
	2.2 Implementatie	5
	2.3 Maatgevende begingebuurtenis	6
	2.4 Veiligheidseisen boortunnel Groene Hart	8
	2.5 Veiligheidsmaatregelen	9
3	Systeembeschrijving referentie-ontwerp	13
	3.1 Infrastructuur ontwerp	13
	3.2 Verkeersleiding	14
	3.3 Procesvoering	14
	3.4 Rollend materieel	14
	3.5 Beveiliging trein & baan	15
4	Kwantificering referentie-ontwerp	17
	4.1 Hoofdgebuurtenissenboom	17
	4.2 Essentiële gebeurtenis A: Brand in de trein	18
	4.3 Essentiële gebeurtenis B: Stop in de tunnel	21
	4.3.1 Essentiële gebeurtenis B.1: Detectie	21
	4.3.2 Essentiële gebeurtenis B.2: Blussen	22
	4.3.3 Essentiële gebeurtenis B.3: Gedwongen stop in de tunnel	22
	4.4 Essentiële gebeurtenis C: Evacuatie	27
	4.4.1 Essentiële gebeurtenis C.1: Snelle start evacuatie	28
	4.4.2 Essentiële gebeurtenis C.2: Ontwikkeling van de brand	28
	4.4.3 Essentiële gebeurtenis C.3: Evacuatie van de reizigers	29
	4.5 Essentiële gebeurtenis D: Hulpverlening	32

	4.6	Resultaten t.a.v. veiligheid	35
5		Kwantificering veiligheidsmaatregelen	39
	5.1	Veiligheidsmaatregelen schakel 1: Pro-actie	39
	5.1.1	Maatregel 1.A: Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting	39
	5.1.2	Maatregel 1.B: Gebruik van brandwerend materiaal in de trein	40
	5.1.3	Maatregel 1.C: Intensieve training van personeel over handelen bij brand	42
	5.2	Veiligheidsmaatregelen schakel 2: Preventie	44
	5.2.1	Maatregel 2.A: Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers	44
	5.2.2	Maatregel 2.B: Automatische branddetectie in technische ruimtes	44
	5.3	Veiligheidsmaatregelen schakel 3: Preparatie	45
	5.3.1	Maatregel 3.A: Ventilatie	45
	5.3.2	Maatregel 3.B: Dwarsverbindingen om de 750 meter	47
	5.3.3	Maatregel 3.C: Dwarsverbindingen om de 500 meter	49
	5.3.4	Maatregel 3.D: Dwarsverbindingen om de 250 meter	50
	5.3.5	Maatregel 3.E: Schachten naar maaiveld,	52
	5.3.6	Maatregel 3.F: Verlichting en markering van het vluchtkanaal	52
	5.3.7	Maatregel 3.G: Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties	53
	5.4	Veiligheidsmaatregelen schakel 4: Repressie	53
	5.4.1	Maatregel 4.A: Vergroten brandweercapaciteit in de regio	54
	5.4.2	Maatregel 4.B: Training van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel	54
	5.5	Veiligheidsmaatregelen schakel 5: Nazorg	55
	5.5.1	Maatregel 5.A: Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden	55
6		Integrale veiligheid tunnel Groene Hart	57
	6.1	Resultaat	57
	6.2	Interpretatie veiligheidsmaatregelen	58
	6.3	Aanvullen overige calamiteiten	61
	6.4	Kwantificering referentie-ontwerp met veiligheidsmaatregelen	62
	6.5	Toetsing kwantificering	63
7		Resultaat boortunnel Groene Hart	69
	7.1	Conclusies model	69
	7.2	Conclusies veiligheid	69
	7.3	Aanbevelingen	70
8		Literatuur	71

1 Inleiding

Dit deelrapport is een onderdeel van de eindrapportage die tot stand gekomen is als onderdeel van het afstudeerwerk bij de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra. Dit deelrapport bevat een model voor de integrale beoordeling van de veiligheid in de boortunnel onder het Groene Hart. Het model beperkt zich tot de veiligheid voor de reizigers in de exploitatiefase van de boortunnel. De basis voor dit model is een methodiek om de verschillende veiligheidsmaatregelen in de tunnel onder het Groene Hart met elkaar te vergelijken. De gedetailleerde analyse van de veiligheidsfilosofie in deelrapport I ligt hieraan ten grondslag. Belangrijk is dat de verschillende veiligheidseisen duidelijk geformuleerd zijn en dat een referentie-ontwerp bekend is, op basis waarvan de veiligheidsmaatregelen onderling vergeleken kunnen worden.

Het uiteindelijk resultaat moet een set van veiligheidseisen en mogelijke veiligheidsoplossingen zijn, die door alle betrokken partijen geaccepteerd worden. Voor iedere veiligheidsoplossing wordt de bijdrage aan de veiligheid gekwantificeerd en wordt een kostenindicatie gegeven. Deze gegevens vormen de basis, die noodzakelijk is om weloverwogen beslissingen te kunnen nemen over veiligheid in een infrastructureel project. De complexiteit van veiligheid wordt zichtbaar, waardoor de ontwerpers van de infrastructuur en de Projectdirectie Hogesnelheidslijn-Zuid gefundeerde keuzen kunnen maken. Het gepresenteerde model geeft een aanzet waarmee de veiligheid in de tunnel onder het Groene Hart integraal benaderd en beoordeeld kan worden.

De uitgevoerde risico-analyse is gebaseerd op een groot aantal aannamen. Deze aannamen zijn tot stand gekomen op basis van informatie uit de literatuur, mondelinge informatie van experts of simpelweg een schatting van de auteur. De risico-analyse moet dan ook niet gezien worden als een weergave van de werkelijkheid. De risico-analyse is een model van de werkelijkheid aan de hand van aannamen. Deze risico-analyse is zeer grof en het uiteindelijk geschatte effect en de geschatte kosten van de maatregelen geven geen harde waarden.

Hoofdstuk 2 geeft de gedetailleerde aanpak weer, waarna in hoofdstuk 3 het referentie-ontwerp wordt gedefinieerd. Dit referentie-ontwerp voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart wordt in hoofdstuk 4 voor de veiligheid gekwantificeerd, waarna in hoofdstuk 5 de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen wordt gekwantificeerd. In hoofdstuk 6 worden de resultaten weergegeven die vervolgens vertaald worden naar algemene conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

Voor de geïnteresseerde lezer is met name de aanpak in hoofdstuk 2 en het uiteindelijke resultaat in hoofdstuk 6 en 7 relevant. De gedetailleerde systeembeschrijving van het referentie-ontwerp en de kwantificering van het referentie-ontwerp en de veiligheidsmaatregelen vormen de achtergrondinformatie.

2 Plan van aanpak

In dit hoofdstuk wordt de gedetailleerde aanpak beschreven die is gevolgd om een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart te ontwikkelen. De aanpak is gesplitst in het formuleren van de doelstelling, het opstellen van het bijbehorende implementatietraject, het formuleren van de maatgevende begingebourtenis en het specificeren van de veiligheidseisen voor de tunnel. Vervolgens is een inventarisatie gemaakt van de mogelijke veiligheidsmaatregelen in het ontwerp. Een aantal veiligheidsmaatregelen is direct opgenomen in het referentie-ontwerp en een aantal veiligheidsmaatregelen wordt in een latere fase gekwantificeerd.

2.1 Doelstelling

De doelstelling is gesplitst in een hoofddoelstelling en een aantal neven-doelstellingen.

Hoofddoelstelling:

Het ontwikkelen van een model voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart, dat geaccepteerd wordt door alle betrokken partijen.

Subdoelstellingen:

- Bepalen van het restrisiko van een ongecontroleerde stop van een brandende trein in de tunnel
- Kwantificeren van de effectiviteit van veiligheidsmaatregelen in de verschillende schakels van het ontwerp.
- Bepalen van de effectiviteit van de hulpverlening voor de totale veiligheid.

2.2 Implementatie

In de aanvulling op het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid (paragraaf 6.3 van deelrapport I) wordt een multidisciplinaire benadering van de veiligheid in het ontwerpproces beschreven. Aan de hand van deze benadering wordt een model opgesteld voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de boortunnel onder het Groene Hart.

De multidisciplinaire benadering start met een uitgebreide analyse van de belangen van de verschillende betrokken partijen. Deze belanghebbenden-analyse dient om in een vroeg stadium van het ontwerpproces de gestelde veiligheidseisen concreet te maken. Een tweede stap in de multidisciplinaire benadering is de probabilistische analyse van het integrale vervoerssysteem. De derde en de belangrijkste stap is de interpretatie en uitwerking van de eisen in de probabilistische analyse van het systeem.

Voor een integrale benadering van veiligheid is een systeembeschrijving over alle systeemdelen van het referentie-ontwerp van groot belang. Dit om te voorkomen dat reeds in een beginstadium van het proces de oplossingsruimte wordt gereduceerd tot alleen het infrastructuurgedeelte van het systeem. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van het referentie-ontwerp.

De verschillende veiligheidsmaatregelen worden onderverdeeld naar de verschillende schakels in de veiligheidsketen, zoals die door het Ministerie van Binnenlandse Zaken is geïntroduceerd. Deze keten be-

staat uit de schakels Pro-actie, Preventie, Preparatie, Repressie en Nazorg (zie paragraaf 3.2.2, deelrapport I). [BiZa, 1997]

1. Pro-actie; Het wegnemen van structurele oorzaken van onveiligheid
2. Preventie; De zorg voor het voorkomen van directe oorzaken van onveiligheid en het zoveel mogelijk beperken van de gevolgen van inbreuken op de veiligheid, indien die zouden optreden.
3. Preparatie; De daadwerkelijke voorbereiding op de te nemen acties bij eventuele inbreuken
4. Repressie; De daadwerkelijke bestrijding van inbreuken en de verlening van hulp in acute noodsituaties.
5. Nazorg; Al hetgeen wat nodig is om zo snel mogelijk weer terug te keren in de 'normale' verhoudingen.

Het uiteindelijke resultaat van de gehanteerde modellering wordt weergegeven in een matrix met daarin de verschillende schakels van de veiligheidsketen en de veiligheidsmaatregelen (zie figuur 2.1). In deze matrix zijn de verschillende veiligheidsmaatregelen geordend naar de relatieve effectiviteit voor de veiligheid. Deze effectiviteit wordt weergegeven in de verhouding geïnvesteerde veiligheidsguldens per gered mensenleven.

De veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie groepen (zie figuur 2.1):

- Groep A: Veiligheidsmaatregelen die in het ontwerp aanbevolen worden
- Groep B: Veiligheidsmaatregelen die eventueel in het ontwerp opgenomen kunnen worden
- Groep C: Veiligheidsmaatregelen die niet aanbevolen worden door het te lage rendement en de te kleine betrouwbaarheid

	Pro-actie	Preventie	Preparatie	Repressie	Nazorg
Veiligheidsmaatregelen A					
Veiligheidsmaatregelen B					
Veiligheidsmaatregelen C					

Figuur 2.1: Matrix voor modellering integrale veiligheid boortunnel Groene Hart

De onderverdeling van de verschillende maatregelen in de drie groepen vindt plaats op basis van een interpretatie van de veiligheidseisen van de verschillende belanghebbenden.

2.3 Maatgevende begingeburtenis

Het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid onderscheidt een aantal ongevalstypen (ongewenste topgebeurtenissen) die gebruikt worden om te sturen op het voorkomen van ongevallen. De opdeling in ongevalstypen is als volgt: [PHZ, september 1997]

- Botsing tussen railvoertuigen onderling
 - botsing van twee treinen frontaal
 - botsing van twee treinen in de flank
 - botsing van twee treinen achterop
- Ontsporing
 - Het niet meer door de spoorstaven geleiden/ dragen van de reizigerstreinen, goederentreinen, rangeerdelen en/ of werktreinen.

- Aanrijding
 - Aanrijding met personen, zoals wegverkeer, reizigers, passanten, treinpersoneel, rangeerders/ storingsmonteurs, baanwerkers en/ of overige personen.
 - Aanrijding met objecten, zoals obstakels, vee/wild, dienstauto's, verloren lading en/ of gereedschap.
- Materieelbrand
- Brand overig
- Explosie
- Persoonlijke ongevallen
 - het vallen uit rijdende treinen (reizigers en personeel)
 - incidenten bij in- en uitstappen
 - elektrocutie
 - gevaarlijke stoffen
- Combinatie van voorvallen
 - ontsporing na botsing
 - ontsporing na aanrijding
 - brand na botsing
 - brand na ontsporing
- Ongevallen met externe oorzaak (gaswolk, vandalisme, overstroming, etc.)

Voor de modellering van de integrale veiligheid in het vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart is gekozen om in eerste instantie slechts één begingebuurtenis in de risico-analyse van het referentie-ontwerp mee te nemen. Een brandende trein in de tunnel wordt als maatgevende begingebuurtenis aangehouden voor de veiligheid van de gebruikers.

Een brandende trein in de tunnel is voor de risico-analyse als maatgevende begingebuurtenis genomen vanwege het directe gevaar voor de reizigers. De hoge temperatuur en de aanwezigheid van rook beperken de beschikbare tijd voor evacuatie en hulpverlening. Indien de inrichting van de tunnels, de procedures, de training van personeelsleden en hulpverleners voldoende is om een brand effectief het hoofd te bieden wordt aangenomen dat dit ook geldt voor de minder kritische calamiteiten, zoals botsing en ontsporing.

Persoonlijke ongevallen van reizigers komen in de tunnel niet voor. Het risico van persoonlijke ongevallen is met name op stations groot door het in- en uitstappen van de reiziger. Persoonlijke ongevallen van instandhoudingspersoneel komen wel voor in de tunnel, maar vallen buiten de scope van dit onderzoek. Ongevallen met een externe oorzaak, zoals weersinvloeden en natuurgeweld, zijn niet erg waarschijnlijk en worden in de aanpak buiten beschouwing gelaten. In een later stadium dient het ontwerp getoetst te worden op gevoeligheid voor weersomstandigheden en natuurgeweld, zoals bijvoorbeeld aardbevingen of terroristische aanslagen.

Het risico van aanrijding is in de tunnel kleiner door de kleinere kans op obstakels in de baan. De kans op ontsporing in de tunnel is gelijk aan de kans op ontsporing op de overige tracédelen door de keuze voor een dubbel U-profiel met permanente ontsporinggeleiding voor het gehele traject. De kans op botsing blijft in de tunnel gelijk door de uniforme werking van de ATB (Automatische Trein Beïnvloeding) over het tracé. De gevolgen van een botsing zijn in de tunnel echter groter dan op overige tracédelen.

2.4 Veiligheidseisen boortunnel Groene Hart

Op basis van het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid en de aanvulling van paragraaf 6.3 (Deelrapport I) is een aantal veiligheidseisen voor de tunnel af te leiden. De topeisen worden gevormd door de twee risiconiveaus in het Integraal VeiligheidsPlan. Binnen deze topeisen bepaalt een combinatie van alle veiligheidseisen van de verschillende betrokken partijen de uiteindelijke optimalisering van het ontwerp.

De verschillende veiligheidseisen in deze paragraaf zijn niet allemaal gedetailleerd uitgewerkt. Onderstaande eisen vormen een voorzet zodat een interpretatie van het effect van de veiligheidsmaatregelen kan worden gegeven.

Probabilistische topeisen:

- Het individueel risiconiveau voor het gehele systeem moet evenredig verdeeld worden over het tracé en mag in de tunnel niet afwijken van een vergelijkbare bovengronds traject. Dit betekent een evenredige toedeling van het persoonlijke risiconiveau voor de reiziger van $4 \cdot 10^{-6}$ naar de tunnel.

Er geldt:

De tunnel heeft een lengte van 6,7 kilometer

De overlijdenskans per reizigerskilometer is $1,5 \cdot 10^{-10}$.

Een gemiddelde forens reist 200 dagen per jaar (400 reizen)

Het gemiddeld aantal reizigerskilometers is 61 kilometer

Het Persoonlijk Risico voor het gehele tracé is: $1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 61 \cdot 400 = 4 \cdot 10^{-6}$ overlijdenskans/jaar

Het Persoonlijk Risico in de tunnel is $1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 6,7 \cdot 400 = 4 \cdot 10^{-7}$ overlijdenskans/jaar

- De Karakteristieke Waarde (KW) van het tunneltracé moet gelijk zijn aan de karakteristieke waarde op een willekeurige tracé-onderdeel. De KW in de tunnel mag enigszins afwijken op basis van een onderbouwde integrale afweging, waarin veiligheid van de maatschappij, maatschappelijke belasting van het milieu, inpassing in de maatschappelijke omgeving en de economische lasten voor de maatschappij worden meegenomen.

$$E_{1 \text{ jaar, } 1 \text{ km}}[n] = 0,0023$$

$$E_{1 \text{ jaar, } 1 \text{ km}}[n^2] = 0,0055 \text{ [Houben, januari 1998]}$$

$$E_{1 \text{ jaar, tunnel}}[n] = 0,0023 \cdot 6,7 \text{ km} = 0,0154$$

$$E_{1 \text{ jaar, tunnel}}[n^2] = 0,0055 \cdot 6,7 \text{ km} = 0,0368$$

$$KW_{\text{tunnel}} = E[n] + 3 \sigma[n] = 0,0154 + 3 \cdot (\text{SQRT}(E[n^2] - E^2[n])) = 0,59$$

1. Economische veiligheidseisen

- Toepassing van het ALARA-principe
- Maximaal rendement van geïnvesteerde veiligheidsgulden
- Constructieve integriteit van de constructie; De constructieve integriteit van de tunnel mag niet in gevaar komen ten gevolge van een maatgevend incident. Dit om de exploitatie niet structureel in gevaar te brengen.

2. Veiligheidseisen t.a.v. perceptie gebruikers:

- Reizigers moeten binnen afzienbare tijd in de openlucht kunnen komen bij een evacuatie (vergelijk de anderhalf uur bij de Kanaal Tunnel).
- Reizigers moeten over voldoende informatie kunnen beschikken over de werking van het systeem en mogelijk vluchtroutes naar maaiveld (kinderen, ouderen, buitenlanders etc.).
- In geval van calamiteiten moet eenduidige informatie over de vervolghandelswijze bekend zijn, waardoor de kans op een succesvolle evacuatie maximaal wordt.

- De veiligheidsvoorzieningen moeten zichtbaar aanwezig zijn en het ontwerp moet enige robuustheid uitstralen.

3. Eisen van hulpverlenende diensten

- “Gouden uur” voor hulpverlening; In geval van een calamiteit moeten alle gewonden binnen één uur verwijderd zijn uit de levensbedreigende situatie. De gewonden moeten vervolgens gestabiliseerd worden.
- Maximale zelfredzaamheid in de tunnel; In geval van een calamiteit mag de gemiddelde reiziger in een trein met een 100 % bezetting niet in een levensbedreigende situatie terecht komen.
- De hulpverleners moeten veilig kunnen werken.

Bepalend voor de effectiviteit van de hulpverlening is de tweede helft van het “Gouden uur”. De brandweer in Rotterdam garandeert binnen 30 minuten na een calamiteit 4 brandweerauto’s met totaal 24 brandweerlieden beschikbaar te hebben. Op de overige plaatsen langs het tracé zijn na 30 minuten slechts 2 brandweerauto’s met 12 brandweerlieden beschikbaar. Voor de zelfredzaamheid is het eerste half uur na de calamiteit maatgevend voor de effectiviteit. [PHZI, februari 1998]

Opgemerkt dient te worden dat de hulpverlenende diensten een dubbele functie vervullen in het hulpverleningsproces. Hulpverleners proberen zoveel mogelijk reizigers zo snel mogelijk in veiligheid te brengen maar zorgen daarnaast ook voor de begeleiding en verzorging van de reizigers die uit de gevarenzone zijn. Deze tweede functie is zeer belangrijk in de totale nazorg van de calamiteit.

2.5 Veiligheidsmaatregelen

In deze paragraaf zijn de mogelijke veiligheidsmaatregelen geïnventariseerd. Onderscheid wordt gemaakt naar de veiligheidsmaatregelen die reeds in het referentie-ontwerp zijn opgenomen en de veiligheidsmaatregelen die nader gekwantificeerd worden in hoofdstuk 5. De veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld naar de verschillende schakels in de veiligheidsketen.

Inventarisatie mogelijke veiligheidsmaatregelen

Onderstaande lijst is een inventarisatie van veiligheidsmaatregelen die mogelijk een grote bijdrage leveren aan de integrale veiligheid van het systeem. De analyses van de infrastructurele projecten in deelrapport III, overige literatuur en een brainstormsessie vormen de basis voor deze inventarisatie.

Schakel 1 veiligheidsketen: Pro-actie

- Stopverbod in de tunnel
- Geen wissels in de tunnel
- Twee enkelsporige tunnelbuizen
- Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting
- Gebruik van brandwerende materiaal in de trein
- Intensieve training van personeel over handelen bij brand
- Een gescheiden servicetunnel voor evacuatie en hulpverlening
- Geen gelijktijdig gebruik van goederentreinen en reizigerstreinen
- Geen dieseltreinen in de tunnel

Schakel 2 veiligheidsketen: Preventie

- Ontsporingseleiding
- Automatische trein beïnvloeding
- Noodremoverbrugging in de tunnel
- Ventilatie in de trein
- Beveiliging van de tunnel tegen explosies
- Plaatsdetectiesysteem van de trein in het spoor
- Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers
- Automatische branddetectie in technische ruimtes
- Automatische branddetectie in reizigersgedeelte
- Rookdichte treincompartimentering
- Communicatiemiddelen in de trein
- Tijdscontrole op bloksecties om de verblijfstijd van de trein in de tunnel te meten
- Gasdetectie in de tunnel
- Hotbox detectie, controle op afmetingen van de trein en controle op ontsporing aan de uiteinde van de tunnel om te voorkomen dat de trein met deficiënties de tunnel ingaat.
- Hittebestendige bovenleiding

Schakel 3 veiligheidsketen: Preparatie

- Toegang hulpverlening bij tunneluiteinden
- Aarding bovenleiding
- Communicatie met verkeersleiding
- Handblusvoorzieningen in de trein
- Vluchtinstructie van het personeel
- Noodverlichting in de trein
- Vluchtpad van 1,20 meter met handleuning
- Hittewerende bekleding ter bescherming van de tunnelconstructie
- Stilstanddetectie; Stilstanddetectie geeft aan dat iets mis is en kan automatisch noodvoorzieningen in werking stellen (verlichting, ventilatie, droge brandleidingen vullen etc.)
- Gescheiden technische systemen voor beide tunnelbuizen
- Langsventilatie ter beheersing van de rookontwikkeling
- Dwarsverbindingen om de 750 meter
- Dwarsverbindingen om de 500 meter
- Dwarsverbindingen om de 250 meter
- Overdruk in het vluchtkanaal
- Schachten naar maaiveld, om de 2.000 meter met trappenhuis, een hijsgat, een lift en beperkte opslagruimte voor middelen voor brandbestrijding en hulpverlening
- Blus(water)voorzieningen in de tunnel
- Verlichting en markering van het vluchtkanaal
- Voorbereiding evacuatie tijdens de noodremming
- Noodtelefoons in de tunnel
- Snelle communicatiesystemen met de verkeersleiding
- Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties

Schakel 4 veiligheidsketen: Repressie

- Opstellen rampbestrijdingsplan
- Vergroten brandweercapaciteit in de regio

- Snellere melding van incident, waardoor de brandweer sneller aanwezig is
- Schuilkelders/ bufferruimtes voor reizigers
- Keuze voor ingegoten spoorstaaf, waardoor makkelijk over het spoor gevlucht kan worden
- Systeem voor aarding van de bovenleiding
- Stroomlijning vluchtwegen
- Brandblusinstallaties in de tunnel
- Waterpompen in de tunnel om bluswater weg te pompen
- Goede verlichting ter voorkoming paniek
- Training van de hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel
- Helicopterlandplaatsen bij toegangen van de tunnel
- Brandbestrijdingsmiddelen op speciale voertuigen bij de toegangen van de tunnel

Schakel 5 veiligheidsketen: Nazorg

- Ruime toegangswegen naar de ingang van de tunnel
- Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden

Veiligheidsmaatregelen in het referentie-ontwerp

De veiligheidsmaatregelen die reeds in het referentie-ontwerp zijn opgenomen, zijn:

Schakel 1: Pro-actie

- Stopverbod in de tunnel
- Geen wissels in de tunnel
- Twee enkelsporige tunnelbuizen
- Geen goederentreinen in de tunnel (brandlast is maatgevend)
- Geen dieseltreinen in de tunnel

Schakel 2: Preventie

- Ontsporingseleiding
- Automatische trein beïnvloeding
- Noodremoverbrugging in de tunnel
- Ventilatie in de trein
- Handblusvoorzieningen in de trein
- Vluchtinstructie van het personeel
- Plaatsdetectiesysteem van de trein in het spoor

Schakel 3: Preparatie

- Toegang hulpverlening bij tunneluiteinden
- Aarding bovenleiding
- Communicatie met verkeersleiding
- Noodverlichting in de trein
- Vluchtpad van 1,20 meter met handleuning

Schakel 4: Repressie

- Rampbestrijdingsplan

Schakel 5: Nazorg

- ..

Aanvullende veiligheidsmaatregelen in het referentie-ontwerp

Bij het opstellen van een model voor een integraal veilig vervoerssysteem is het relevant om de effectiviteit van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de verschillende schakels van het ontwerp te kwantificeren. Deze kwantificering dient als basis voor de derde stap van de multidisciplinaire benadering van veiligheid, de interpretatie van de eisen in het vervoerssysteem (zie hoofdstuk 6.3, deelrapport I).

Het kwantificeren van slechts een aantal veiligheidsmaatregelen is voldoende om de gevoeligheid van de verschillende typen maatregelen in de verschillende schakels van het systeem weer te geven. Uit de inventarisatie van mogelijke veiligheidsmaatregelen is een aantal maatregelen geselecteerd. De veiligheidsmaatregelen die nader gekwantificeerd worden in hoofdstuk 5 van dit deelrapport zijn:

Schakel 1 veiligheidsketen: Pro-actie

- Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting
- Gebruik van brandwerende materiaal in de trein
- Intensieve training van personeel over handelen bij brand

Schakel 2 veiligheidsketen: Preventie

- Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers
- Automatische branddetectie in technische ruimtes

Schakel 3 veiligheidsketen: Preparatie

- Ventilatie
- Dwarsverbindingen om de 750 meter
- Dwarsverbindingen om de 500 meter
- Dwarsverbindingen om de 250 meter
- Schachten naar maaiveld
- Verlichting en markering van het vluchtkanaal
- Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties

Schakel 4 veiligheidsketen: Repressie

- Vergroten brandweercapaciteit in de regio
- Training van de hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel

Schakel 5 veiligheidsketen: Nazorg

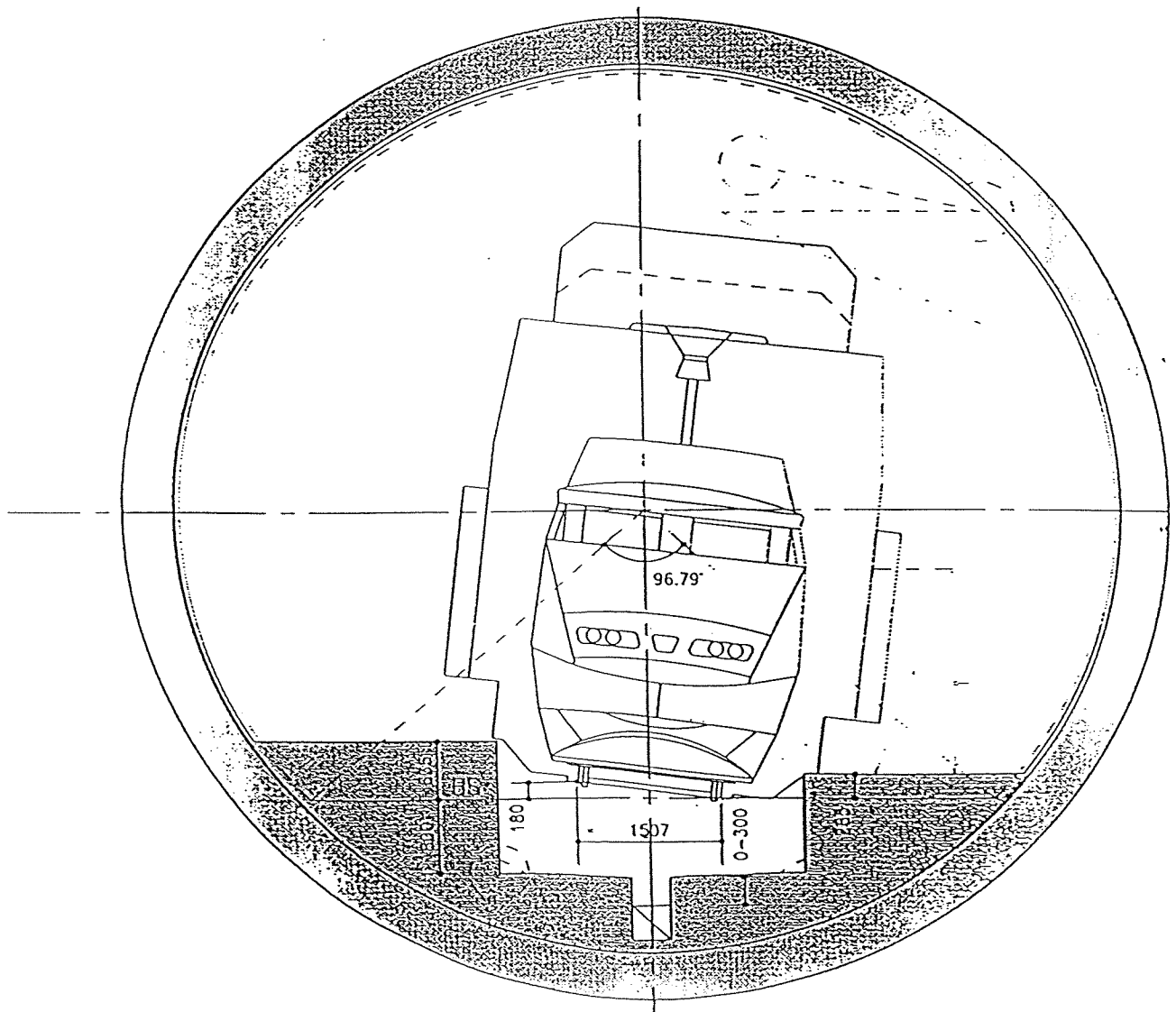
- Ruime toegangswegen naar de ingang van de tunnel
- Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden

3 Systeembeschrijving referentie-ontwerp

In dit hoofdstuk wordt het referentie-ontwerp voor de tunnel onder het Groene Hart beschreven. Het referentie-ontwerp omvat het integrale systeem van een trein die door een tunnel rijdt. Het referentie-ontwerp bestaat uit de subsystemen infrastructuur, verkeersleiding, procesvoering, beveiliging trein & baan en het rollend materieel.

3.1 Infrastructuur ontwerp

Als concept ontwerp voor de tunnel onder het Groene Hart wordt in eerste instantie uitgegaan van twee enkelsporige boortunnels met een inwendige diameter die is bepaald door aërodynamische aspecten. In de tunnel zijn geen wissels aangebracht en is een ontsporingsgeleiding opgenomen. Naast elk spoor is één vluchtweg voorzien met een minimale breedte van 1,2 meter (zie figuur 3.1).



Figuur 3.1: Doorsnede enkelsporige tunnelbuis

Het referentie-ontwerp bevat geen dwarsverbindingen. In het midden van de tunnel wordt een schacht naar het maaiveld geconstrueerd. Bij deze schacht naar het maaiveld wordt een brandblusinstallatie in de tunnel aangebracht met daarbij tevens extra verlichting. Om de integriteit van de tunnel te beschermen kan over een kleine lengte van de tunnel een hittewerende bekleding aangebracht worden.

Het grote voordeel van dit concept is dat hulpverleners altijd weten waar de trein is en binnen een relatief gunstige omgeving hun werkzaamheden kunnen verrichten. Aanwezig zijn ruime toegangswegen, een grote bovengrondse ruimte ter plaatse van de schacht, de juiste communicatiemiddelen en een brandblussysteem.

Bovendien heeft de evacuatie van alle treinreizigers bij een gecontroleerde stop in een "safety-haven" met voldoende beschikbare evacuatietijd een grotere kans van slagen in vergelijking met een ongecontroleerde stop. Een ongecontroleerde stop veroorzaakt verwarring door gebrek aan informatie waardoor de kans groot is op een ongecontroleerde evacuatie.

3.2 Verkeersleiding

Tijdens de normale exploitatie mag de trein niet tot stilstand komen in de tunnel. De trein mag niet gepland in de tunnel tot stilstand worden gebracht. Dit betekent dat de tunnel geen onderdeel kan uitmaken van de verschillende blokken in het blokbeveiligingssysteem. Indien een trein ten noorden van de tunnel stilstaat, mag de achterliggende trein niet stoppen in de tunnel.

De treinen moeten een minimum ingangssnelheid hebben om de tunnel in te rijden, waardoor de trein altijd gecontroleerd tot stilstand kan komen bij de maaiveldschacht of buiten de tunnel. Beide maatregelen zijn van invloed op de uiteindelijke capaciteit van het systeem.

3.3 Procesvoering

De procesvoering is ingericht op het voorkomen van een stilstaande trein in de tunnel. De trein bevat een systeem dat de afstand van de trein tot de tunnel weergeeft en aangeeft of de trein bij de huidige snelheid nog tot stilstand kan komen voor de tunnel. Op basis van casuïstiek wordt de maatgevende tijdsduur bepaald tussen het onverhoopt optreden van een brand in de trein en het daaropvolgende falen van een essentieel onderdeel. Het falen van een essentieel onderdeel in de trein introduceert een gedwongen stop van de trein. De maatgevende stuurparameter is de verhouding tussen nodige reistijd naar het einde van de tunnel en de beschikbare tijd nodig voor een gedwongen stopprocedure als dat noodzakelijk is door falen van een essentieel onderdeel.

Indien deze verhouding negatief is, waardoor de kans groot is dat de trein het uiteinde van de tunnel niet zal gaan halen, wordt een gecontroleerde stopprocedure in werking gesteld. De gecontroleerde stopprocedure zorgt dat de brandende trein bij de maaiveldschacht tot stilstand komt. De hulpverlening kan vanaf dat moment onder relatief gunstige omstandigheden haar werk uitvoeren.

3.4 Rollend materieel

Materieel is een voertuig dat op het spoor rijdt en gebruik maakt van de dragende en geleidende functies van het spoor. Een trein bestaat uit materieel of een samenstel van materieel en is bedoeld om als eenheid over het spoor te rijden. [Zijdemans, februari 1998]

De treintypen die mogelijk op het HSL-Zuid tracé gaan rijden zijn weergegeven in onderstaande figuur. De maximale snelheid van alle gegeven materieeltypen is minimaal 220 km/uur. [Wijnands, februari 1998]

Type	Maximale treinlengte	100 % bezetting zitplaatsen (alleen reizigers)	Volledige bezetting (incl. eventuele staanplaatsen)
ICR	15 bakken / 396 meter	1.096	1.934
DD-IRM III	12 bakken / 243 meter	825	1.305
DD-IRM IV	12 bakken / 322,5 meter	1.116	1.752
TGV-PBKA	2 stellen / 400 meter	754	754
ICE-3M	2 stellen / 400 meter	760	760
DD-UIC-GC	12 bakken / 322,5 meter	1.350	2.112

Figuur 3.2: Mogelijke treintypen op het HSL-Zuid tracé

Type-aanduiding	Betekenis type-aanduiding
ICR	Intercity-rijtuigen, getrokken door locomotief
DD-IRM III	Dubbeldekker Interregio
DD-IRM IV	Dubbeldekker Interregio
TGV-PBKA	Thalys
ICE-3M	Duitse Intercity Express
DD-UIC-GC	Denkbeeldige brede dubbeldekker (maximale treinlengte gelijk aan DD-IRM IV)

Figuur 3.3: Betekenis materieeltype-aanduidingen

In vergelijking met het oudere conventionele materieel zijn meer voorzieningen aangebracht om te voorkomen dat een brand optreedt en zich vervolgens uitbreidt. Sommige technische ruimtes zijn uit brandwerende materialen samengesteld om te voorkomen dat een brand zich verder uitbreidt. De brandbaarheid van materialen en de vuurbelasting in de passagierstoegankelijke ruimtes is gereduceerd. Het gebruik van aluminium levert echter een hogere vuurbelasting. Door het gebruik van verschillende soorten materiaal is het gedrag qua brandbaarheid en vuurbelasting per type trein verschillend.

3.5 Beveiliging trein & baan

Deze paragraaf tracht een zo volledig mogelijke systeembeschrijving te geven van de veiligheidsfuncties in de trein en op de baan. De HSL-Zuid wordt ontworpen voor materieel dat gebruikt wordt op het Europese hogesnelheidsspoor en voor speciaal binnenlands materieel. De eisen die aan de beveiliging van het materieel en de baan gesteld worden, zijn sterk in ontwikkeling. Onduidelijk is welke systemen met welke betrouwbaarheid uiteindelijk in het HSL-systeem opgenomen zullen worden. Onderstaande systeembeschrijving van het subsysteem beveiliging trein & baan vormt dan ook een eerste aanzet.

De NS acht het van groot belang dat, naast bots- en ontsporingsveiligheid, de treinen zo ontworpen zijn dat een voldoende mate van veilig functioneren kan worden gegarandeerd. Om dit te kunnen realiseren wordt onderscheid gemaakt in vier hoofdfunctiegroepen, veiligheidsfuncties, performancefuncties, comfortfunctie en toeleverende en hulpfuncties (zie bijlage J.1, deelrapport III). [Zijdemans, februari 1998] Het materieel bevat de volgende functies die als veiligheidsfunctie worden aangemerkt:

- snelremming uitvoeren, geïnitieerd door machinist,
- snelremming uitvoeren, geïnitieerd door ATB-installatie,

- snelremming uitvoeren, geïnitieerd door dodemansinstallatie,
- snelremming uitvoeren, na bediening noodremtrekker (incl. signalering aan machinist)
 - Bij een snelremming dient een remvertraging te worden gerealiseerd overeenkomstig met of groter dan het vereiste rempercentage van de trein. Tevens dient een opdracht gegeven te worden om de tractietrekkraft af te schakelen.
- remming als gevolg van treinbreuk,
- parkeerremming handhaven,
- controleren aanwezigheid en handelingsbekwaamheid machinist,
- ATB installatie,
- uitschakelen trekkraft bij snelremmingen,
- niet inschakelen trekkraft indien niet gevraagd,
- op werkdruk brengen en houden van pneumatisch net,
- sluiten en gesloten houden van de deur tijdens rijden in de reizigersdienst (incl. signalering),
- openen en geopend houden van deuren door middel van noodbediening bij lage snelheid,
- voorkomen van inklemmen van reizigers bij dichtgaan van de deuren,
- front- en sluitseinen,
- noodverlichting interieur (vluchtroutes uit de trein),
- inschakelen en in werking houden van lage en hoge tonen typhoon,
- zicht bieden op de infrastructuur voor de machinist,
- geleiding van de trein in x-, y- en z-richting, ophanging van onderdelen,
- gekoppeld houden van treindelen.

Op het raakvlak tussen de beveiliging in de trein en op de baan en de onderlinge interactie bevindt zich het BBT-systeem (Beveiliging, Beheersing & Telecom) Het BBT-systeem omvat als kernfuncties het leveren van een bijdrage in de primaire vervoersprestatie en het bewaken van een aantal vitale functies binnen het vervoerssysteem. Deze functieervulling heeft betrekking op alle infratypen binnen HSL-Zuid en op de volgende materieeltypen: [Brascamp, februari 1998]

- ETCS- en niet ETCS-treinen (European Train Control System)
- Reizigers- en werktreinen
- Instandhoudingsprocessen, te beschouwen als fictieve treinen

Resultaateis voor veiligheid:

- De kans op onveilig falen van het BBT-systeem gedurende een periode van 1 uur dient kleiner te zijn dan 10^{-10} (ERTMS).

Vorm- (of technische) eisen:

- Het BBT-systeem dient minstens de volgende additionele functies voor de bewaking van gebruikersgedrag te implementeren:
 - Hot box; Door een defect lager kan de aspot in de trein oververhit raken. Dit kan, indien het niet tijdig gedetecteerd wordt en de trein met onverminderde snelheid doorrijdt, leiden tot brand, vastgelopen aseind en/of asbreuk en daardoor ontsporing.
 - Wiel- en wielastafwijkingen
- Het BBT-systeem dient minstens de volgende additionele functies voor de bewaking van gebruikruimtes te implementeren:
 - Falen van overloopverbindingen
 - Ontsporing en sperring van nevenspoor
 - Spoorstaafbreuk

4 Kwantificering referentie-ontwerp

Dit hoofdstuk bevat de kwantificering van de veiligheid in het referentie-ontwerp, dat in hoofdstuk 3 is beschreven. De kwantificering vindt plaats door het uitvoeren van een risico-analyse, die de basis vormt voor het model voor integrale veiligheid. De risico-analyse vindt plaats aan de hand van een hoofdgebeurtenissenboom, waarin de essentiële gebeurtenissen zijn aangegeven.

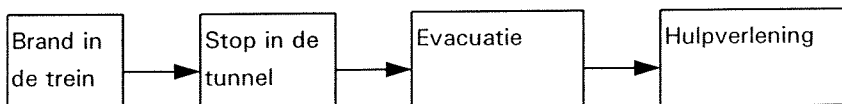
Het kwantificeren vereist een aantal aannamen die zo realistisch mogelijk gekozen zijn en die tijdens de risico-analyse expliciet vermeld worden. Deze aannamen zijn tot stand gekomen op basis van informatie uit de literatuur, mondelinge informatie van experts of simpelweg een schatting van de auteur. De risico-analyse moet dan ook niet gezien worden als een harde weergave van de werkelijkheid.

De keuze van de aannamen is van grote invloed op de uiteindelijke uitkomsten van de risico-analyse. De risico-analyse tracht de gevoeligheid voor veiligheid van de verschillende systeemonderdelen weer te geven. Een uitgebreide en exacte risico-analyse van het systeem is daarom zeer nuttig en moet voor het uiteindelijke ontwerp van een HSL-Zuid ook zeker worden uitgevoerd. De grove risico-analyse in dit hoofdstuk dient slechts als ondersteuning voor het model van de integrale veiligheid.

4.1 Hoofdgebeurtenissenboom

De hoofdgebeurtenissenboom om de integrale veiligheid van het vervoerssysteem te kwantificeren is opgebouwd uit een aantal essentiële gebeurtenissen. Maatgevend is een brandende reizigerstrein die stil komt te staan in de tunnel (zie paragraaf 2.3). De maatgevende begingebuurtenis is dan ook een brand in de trein. Een brand in de trein introduceert niet per definitie een stop in de tunnel onder het Groene Hart. Dit hangt af van factoren als detectie, blusmogelijkheden en de plaats van de trein op het tracé. Op het moment dat de trein tot stilstand komt in de tunnel worden de evacuatiemogelijkheden essentieel, waarna ook de hulpverleningsdiensten in actie komen.

Voor de maatgevende begingebuurtenis in de tunnel onder het Groene Hart zijn de volgende essentiële opeenvolgende gebeurtenissen te onderscheiden (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1: Maatgevende essentiële gebeurtenissen

Deze verschillende essentiële gebeurtenissen worden verder uitgewerkt, waarna uiteindelijk het risico van een stilstaande brandende trein in de tunnel berekend kan worden.

Begingebuurtenis "brand in de trein":

In hoofdstuk 2 is kwalitatief onderbouwd dat voor de risico-analyse een brand in een trein een maatgevende begingebuurtenis is. Het uiteindelijke brandvermogen van de brand is sterk afhankelijk van het type materieel. Voor "heavy rail" materieel kan worden uitgegaan van een brandlast van 20 MegaWatt-uur. Voorwaarde is wel dat een stalen carrosserie en dak zijn toegepast. Bij toepassing van aluminium in

“light rail” materieel vindt een snellere ontbranding plaats en daardoor is een groter brandvermogen te verwachten. [Wijnands, februari 1998]

Aanname 1: Het brandmodel is afhankelijk van het materieel. Voor dit model wordt een maatgevend brandvermogen van 20 MW aangehouden, waarbij de brand na 1 uur uitdooft.

Bovenstaande aanname toont het verband tussen het brandvermogen en de tijdsduur van de brand. Indien het vermogen van de brand groter is, zal de maximale vuurlast sneller ontbranden en dooft de brand sneller uitdoven.

Planning aantal treinen:

Als uitgangspunt voor de kansschatting van het aantal treinen dienen de exploitatieve uitgangspunten van de HSL-Zuid. [Hendriks, oktober 1997] Voor het traject Rotterdam CS - Amsterdam wordt uitgegaan van 172 treinen per dag (zie figuur 4.2). Dit zijn 100 HST treinstellen en 72 shuttle-combinaties.

Aanname 2: Voor de risico-analyse wordt gerekend met 172 treinen per dag over het HSL-Zuid tracé tussen Rotterdam CS en Amsterdam

HST'n/tijd	Aantal treinen per uur, Rotterdam CS - Amsterdam																								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1				
Naar Buitenland																									
Asd - Parijs, enkel		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
Asd - Parijs, dubbel																									0
Asd - Londen, enkel		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
Asd - Brussel, enkel			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	
Asd - Brussel, dubbel																								0	
HST/Charter, dubbel			1	1																				4	
TGV-fret		1													1								1	3	
Shuttle; Loc+rjt																									
Asd-Rld-Bd, 9 rjt			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12/108	
Asd-Rld, 9 rjt			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12/108	
Asd-Rld-Bd, 6 rjt		1														1	1	1	1	1	1	1	1	6/36	
Asd-Rld, 6 rjt		1														1	1	1	1	1	1	1	1	6/36	
Uit Buitenland																									
Parijs - Asd, enkel			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
Parijs - Asd, dubbel																								4	
Londen - Asd, enkel					1	1																		9	
Londen - Asd, dubbel																								0	
Brussel - Asd, enkel			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
Brussel - Asd, dubbel																								0	
HST/Charter, dubbel																								4	
TGV-fret		1														1							1	3	
Shuttle; Loc+rjt																									
Bd-Rld-Asd, 9 rjt			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12/108	
Rld-Asd, 9 rjt			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12/108	
Bd-Rld-Asd, 6 rjt		1														1	1	1	1	1	1	1	1	6/36	
Rld-Asd, 6 rjt		1														1	1	1	1	1	1	1	1	6/36	
Totaal aantal treinstellen HST per dag																								100	
Totaal aantal Loc'n + rjt'igen per dag																								72/576	

Figuur 4.2: Planning aantal treinen HSL-Zuid

4.2 Essentiële gebeurtenis A: Brand in de trein

Falen essentieel onderdeel:

Bij de keuze voor een gecontroleerde stop van de trein in geval van een calamiteit is belangrijk om inzicht te hebben in de relatie tussen het ontdekken van een brand en het falen van een essentieel onderdeel. In bijlage B.2 (deelrapport III) wordt enige informatie gegeven over branden met conventioneel materieel in

Nederland tussen 1981 en 1995. Deze gegevens zijn ontleend aan het Miso (Management Informatie Systeem Spoorwegveiligheid) van Railned Spoorwegveiligheid. [Stuifmeel, april 1997]

In de beschouwde periode van 1981 tot en met 1995 (15 jaar) is sprake geweest van 16 branden in reizigerstreinen met elektrische tractie waarbij de schade f 10.000,- of meer bedroeg. Gemiddeld één grote brand in een trein per jaar, waarvan 75 % van de treinen in exploitatie was. In figuur 4.3 worden de relevante gegevens vermeld van de treinen in exploitatie. In het Nederlands conventionele treinverkeer ontwikkelt zich gemiddeld één grote brand per jaar, bij circa 110 miljoen treinkilometers per jaar. De kans op brand is $1/110 \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^{-8}$ per treinkilometer.

De kans op brand is omgerekend naar een kans per treinkilometer om niet alleen het aantal bedrijfsuren van de trein maar ook de treinsnelheid mee te nemen. Een hogere snelheid van de trein introduceert bijvoorbeeld meer wrijvingswarmte, waardoor de kans op brand toeneemt.

Aanname 3: De kans op brand in de trein is $1 \cdot 10^{-8}$ per treinkilometer.

Figuur 4.3 bevat informatie over de plaats van de brand en de gevolgen. Daarnaast bevat de figuur een schatting van de tijd tussen het ontdekken van de brand en het falen van een essentieel onderdeel. Indien een essentieel onderdeel faalt, wordt de trein gedwongen te stoppen. Deze schatting is subjectief en op basis van de beschikbare informatie moeilijk nader te specificeren. Bovendien is de beschikbare informatie van toepassing op conventioneel Nederlands treinmaterieel en geldt niet voor de internationale HST. Desondanks laat de figuur zien dat een essentieel onderdeel naar alle waarschijnlijkheid niet binnen 10 minuten na het ontstaan van de brand zal falen, waardoor de trein in ieder geval in die periode onbelemmerd door kan rijden.

Datum incident	Tijd tot falen essentieel onderdeel (schatting)	Totale schade-omvang (gulden)	Plaats v/d brand: (Reizigersruimte/ Technische ruimte; RR/TR)	Kenmerk
14 feb 1981	20 minuten	-	TR	Kortsluiting
3 mei 1981	10 minuten	400.000	RR	Brandstichting reizigerscompartiment
15 dec 1983	-	-	TR	Brandende vouwbalg
5 mrt 1988	-	-	RR	Kortsluiting in zekeringkast
27 juni 1988	15 minuten	10.000	RR	Brandstichting reizigersruimte
30 juli 1988	10 minuten	-	TR/RR	Kortsluiting apparatenkast & ontploffing vloerverwarming bedieningsruimte
13 feb 1991	-	70.000	TR	Rookontwikkeling bij stroomafnemer, rook in reizigersruimte
30 nov 1991	-	-	TR/RR	Brandstichting in schakelkast
25 april 1992	10 minuten	-	RR	Brandstichting reizigerscompartiment
25 dec 1992	-	1.500.000	RR	Brandstichting reizigerscompartiment
11 jan 1993	15 minuten	3.000.000	-	-
26 sept 1994	-	700.000	RR	Brandstichting

Figuur 4.3: Brand in reizigerstreinen in exploitatie bij conventioneel treinverkeer in Nederland (periode 1981-1995)

Aanname 4: Bij een brand in de trein kan de trein met een zekere betrouwbaarheid nog 10 minuten doorrijden na het ontstaan van de brand, voordat een gedwongen stop gemaakt moet worden door falen van een essentieel onderdeel (werkhypothese).

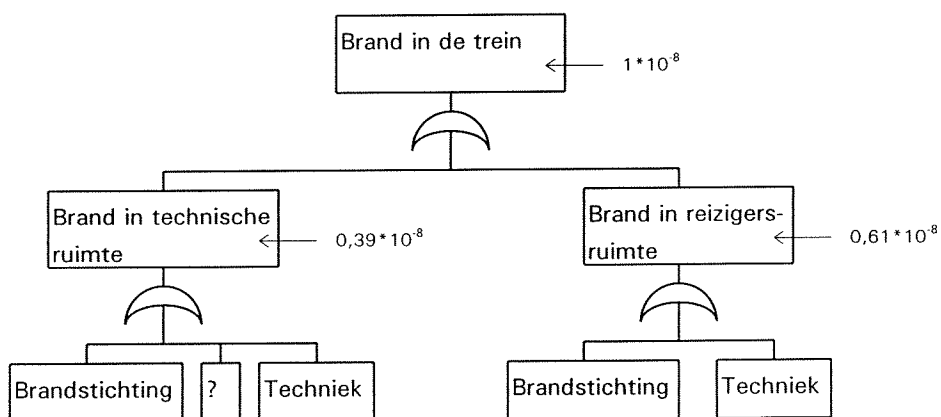
Dit betekent dat een Thalys die met 300 km/uur rijdt een afstand kan overbruggen van $300/6 = 50$ kilometer, vanaf het moment dat de brand ontstaat. Bovenstaande statistiek toont dat de kans op een gedwongen stop binnen deze 10 minuten zeer klein is. Een shuttle die met 160 km/uur rijdt kan nog een afstand overbruggen van $160/6 = 26$ kilometer.

Op basis van bovenstaande gegevens lijkt een schacht naar het maaiveld in het midden van de tunnel in eerste instantie niet de optimale maatregel om de veiligheid substantieel te verhogen. De tunnel van 6,7 kilometer is al dusdanig kort dat een halvering van de tunnallengte nauwelijks effectief is om de kans op een ongecontroleerde stop te verlagen.

Aanname 5: In het oorspronkelijke referentie-ontwerp wordt de schacht naar het maaiveld geschrapt en zal een gecontroleerde stop per definitie buiten de tunnel zijn.

In de periode 1981 - 1995 hebben zich in totaal 30 treinbranden voorgedaan in reizigerstreinen met elektrische tractie. 4 van deze 30 voorvallen vonden plaats in treinen die niet in exploitatie waren. De overgebleven 26 branden hebben de volgende onderverdeling (zie figuur 4.4):

- 10 branden, gestart in reizigersruimte
 - 9 * brandstichting
 - 1 * technische oorzaak
- 16 branden gestart in technische ruimte
 - 1 * brandstichting
 - 9 * techniek
 - 6 * onbekend



Figuur 4.4: Foutenboom essentiële gebeurtenis A

De gegevens over branden in treinen laten zien dat circa 40 % van de branden ontstaan in de technische ruimte en circa 60 % van de branden in de reizigersruimte.

Brand in de tunnel door brandstichting of kortsluiting in één van de systemen in de tunnel wordt in deze risico-analyse niet meegenomen. Aangenomen wordt dat de kans dat de trein door een brand in de tunnel ook daadwerkelijk tot stilstand komt in de tunnel, verwaarloosbaar klein is. De kans dat een brand in de Schipholtunnel overslaat op de trein, waardoor een gedwongen stop plaats vindt in de tunnel onder het Groene Hart, wordt eveneens verwaarloosd.

Aanname 6: De gevolgen van een externe brand die hinder oplevert voor de trein worden niet meegewogen in deze risico-analyse.

4.3 Essentiële gebeurtenis B: Stop in de tunnel

De kans dat gebeurtenis B optreedt wordt berekend als een kans onder voorwaarde dat gebeurtenis A is opgetreden. Na analyse blijkt dat een sterke relatie bestaat tussen de uiteindelijke ontwikkeling van de brand, het moment van detectie en een mogelijk stilstaan van een brandende trein in de tunnel. Op basis van deze veronderstelling wordt de gebeurtenis B onderverdeeld in twee subgebeurtenissen:

- Een gedwongen stop in de tunnel ten gevolge van een brand in het reizigersgedeelte.
- Een gedwongen stop in de tunnel ten gevolge van een brand in een technische ruimte.

Aanname 7: Voor de essentiële gebeurtenis "Gedwongen stop in de tunnel" wordt onderscheid gemaakt in een gedwongen stop door brand in het reizigersgedeelte en door brand in een technische ruimte.

Voor de kansverdeling van een gedwongen stop in de tunnel, veroorzaakt door een brand, is gestart met het opstellen van een reële werkhypothese. Hierbij is verondersteld dat een brand in een technische ruimte sneller een gedwongen stop zal veroorzaken dan een brand in het reizigersgedeelte. Een brand in de technische ruimte bevindt zich immers dicht bij de essentiële onderdelen voor de voortstuwing van de trein. Een trein is in principe ontworpen om in geval van een calamiteit automatisch te stoppen. Een gedwongen stop kan plaats vinden doordat de tractie uitvalt of de trein een automatische remprocedure inzet.

De werkhypothese luidt dat met een bepaalde betrouwbaarheid aangenomen kan worden dat de trein niet gedwongen wordt te stoppen binnen 10 minuten na het ontstaan van de brand. De betrouwbaarheid is afhankelijk van de plaats van de brand. Deze werkhypothese wordt aangevuld met de aanname dat de trein 10 minuten na ontstaan van de brand een gedwongen stop zal maken.

Aanname 8: De kans op een gedwongen stop binnen 10 minuten na het ontstaan van een brand in het reizigersgedeelte is 0,01 (werkhypothese).

Aanname 9: De kans op een gedwongen stop binnen 10 minuten na het ontstaan van een brand in een technische ruimte is 0,1 (werkhypothese).

Aanname 10: De trein zal 10 minuten na ontstaan van de brand een gedwongen stop maken ten gevolge van het falen van een essentieel onderdeel.

4.3.1 Essentiële gebeurtenis B.1: Detectie

De plaats van het ontstaan van de brand is tevens van invloed op het moment van detectie. Een brand in het reizigersgedeelte zal over het algemeen eerder gedetecteerd worden dan een brand in een technische

ruimte onder de trein. De detectie is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van automatische detectiemogelijkheden zoals eventuele rookmelders en het aantal reizigers in de trein. Voor de risico-analyse van het referentie-ontwerp zijn nog geen extra voorzieningen aangebracht. De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van een brand in het reizigersgedeelte wordt geschat op 60 %. De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in de technische ruimte wordt lager ingeschat, op circa 40 %.

Aanname 11: De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van een brand in het reizigersgedeelte is 60 %.

Aanname 12: De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in de technische ruimte is 40 %.

4.3.2 Essentiële gebeurtenis B.2: Blussen

Een mogelijke succesvolle brandblusactie door reizigers of de conducteur van de brand in de trein is sterk afhankelijk van de plaats van de brand. Een brand in het reizigersgedeelte is over het algemeen eenvoudiger te blussen dan een brand in de technische ruimte van de trein. Daarnaast is ook het moment van detectie bepalend voor de ontwikkeling van de brand, waardoor de bluskans sterk afneemt bij een late detectie.

Aanname 13: De kans op een succesvolle blusactie, bij vroege detectie van een brand in een reizigers-trein is 70 %.

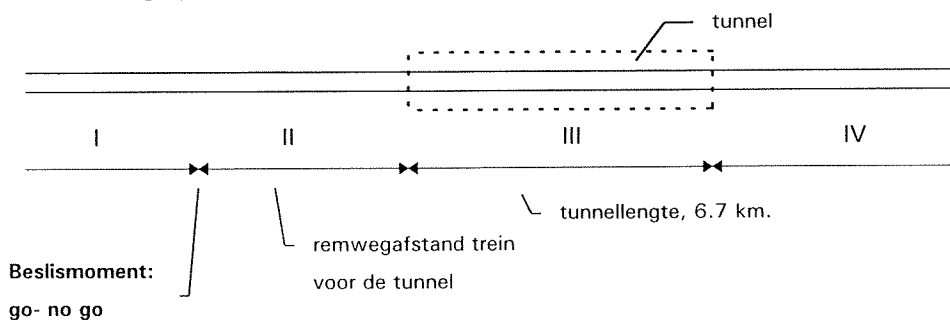
Aanname 14: De kans op een succesvolle blusactie, bij late detectie van een brand in een reizigers-trein is 40 %.

Aanname 15: De kans op een succesvolle blusactie, bij vroege detectie van een brand in de technische ruimte is 30 %.

Aanname 16: De kans op een succesvolle blusactie, bij late detectie van een brand in de technische ruimte is 10 %.

4.3.3 Essentiële gebeurtenis B.3: Gedwongen stop in de tunnel

Voor een mogelijke stop in de tunnel is grofweg een drietal gebieden te onderscheiden (zie figuur 4.5).



Figuur 4.5: Schematisatie spoor en tunnel

Het beslismoment is belangrijk voor de machinist van de trein. Als de machinist informatie heeft over een calamiteit in de trein, kan de machinist inschatten wat de juiste beslissing is om de gevolgen zoveel mo-

gelijk te beperken. De ligging van het beslismoment voor de go/no go beslissing om wel of niet de tunnel in te rijden, wordt bepaald door de remwegafstand van de trein en daarmee dus ook door de treinsnelheid.

- Gebied I: Als de trein in dit gebied rijdt wanneer een go/no go beslissing genomen moet worden, kan de trein het beste stoppen. De trein kan nog tot stilstand komen voor de tunnel.
- Gebied II: Als de trein in dit gebied rijdt wanneer een go/no go beslissing genomen moet worden, moet de trein doorrijden om stilstand in de tunnel te voorkomen.
- Gebied III: De trein bevindt zich in de tunnel en moet doorrijden tot het einde van de tunnel voordat een remprocedure gewenst is.
- Gebied IV: Dit gebied is vergelijkbaar met gebied I, de trein kan het beste zo snel mogelijk stoppen.

De ontwikkeling van de brand in de trein kan sneller verlopen als de trein door blijft rijden. Vanuit dit oogpunt is dan ook aan te bevelen om de trein zo spoedig mogelijk tot stilstand te brengen. Bij de brand in de Kanaaltunnel in november 1996 waren 4 brandhaarden aanwezig op het moment dat de trein stil stond. De trein in de Kanaaltunnel bestond uit open wagons en is brandend 19 kilometer de tunnel ingereeden (zie bijlage G.0, Deelrapport III).

Aanname 17: De procedure bij detectie van een brand in de trein moet zijn om onmiddellijk een snelremming in te zetten. Een uitzondering vormt de situatie wanneer de trein in gebied II of III bij een tunnel rijdt (zie figuur 4.5).

Op het moment dat de brand is gedetecteerd door de reizigers of door treinpersoneel is van groot belang dat de machinist zo snel mogelijk de juiste informatie krijgt. Deze adequate informatie-overdracht is sterk afhankelijk van de plaats van de brand in de trein, de aanwezigheid van communicatiemiddelen met de machinist en de werking van een branddetectiesysteem.

Aanname 18: Een adequate informatie-overdracht van reizigers of treinpersoneel naar de machinist, binnen 3 minuten na detectie heeft een betrouwbaarheid van 50 %.

Voor de machinist is van belang om te weten in welk gebied de trein zich bevindt. Dit houdt in dat in de beveiligingssystemen een plaatsdetectiesysteem opgenomen dient te worden. Op deze manier kan de machinist, op basis van de juiste informatie omtrent de remwegafstand en de snelheid van de trein, een go/no go beslissing nemen.

Aanname 19: De machinist in de trein heeft de beschikking over een systeem dat bij iedere snelheid de beschikbare tijd tot het go/no go beslismoment t.o.v. de tunnel onder het Groene Hart vastlegt.

Aanname 20: De kans dat de machinist binnen 1 minuut de juiste beslissing neemt om door te rijden of te stoppen is 90 %.

Het proces van een vroegtijdige detectie, een snelle melding naar de machinist en een effectieve beslissing van de machinist om door te rijden of te stoppen duurt 9 minuten. Dat betekent dat nog 1 minuut rijtijd over is om de tunnel uit te rijden. In 1 minuut kan een trein die 160 km/uur rijdt nog circa 2,7 kilometer overbruggen.

Het moment van detectie is sterk bepalend voor de beslismogelijkheden die de machinist heeft om de trein de tunnel uit te laten rijden, wanneer wordt uitgegaan van de aanname dat de trein na 10 minuten gedwongen wordt te stoppen. Indien de brand laat gedetecteerd wordt, zal de go/no go beslissing niet meer relevant zijn en zal de trein brandend in de tunnel stoppen, nadat de 10 minuten verstreken zijn.

De ligging van de het go- no go beslistmoment wordt bepaald door de snelheid van de trein en het bijbehorende snelremvermogen. Voor het snelremvermogen wordt een remvertraging van 1 m/s^2 gehanteerd.

Aanname 21: Voor het snelremvermogen van het gemiddelde materieel op de HSL-Zuid wordt een remvertraging van 1 m/s^2 gehanteerd

De kans op brand in de trein in het reizigersgedeelte of in een technische ruimte is gedefinieerd als faalkans per kilometer. In de kans op een gedwongen stop in de tunnel wordt deze faalkans omgerekend naar een stopkans per jaar in de tunnel onder het Groene Hart.

Gerekend wordt met 172 treinen per dag, die de tunnel passeren. De snelheid van de trein vormt een maatgevende factor in de kans op een gedwongen stop in de tunnel. Voor de risico-analyse is onderscheid gemaakt in drie verschillende treinsnelheden, 40 km/uur, 160 km/uur en 300 km/uur. Voor de 172 treinen is een schatting gemaakt van de passeersnelheid door de tunnel en is per passeersnelheid de remwegafstand berekend bij een snelremming (zie figuur 4.6).

Aanname 22: 5 % van alle treinen die de tunnel passeren zijn gedwongen hun voorkeursnelheid aan te passen van 300 km/uur naar 40 km/uur voor TGV's of van 160 km/uur naar 40 km/uur voor shuttles.

Aantal treinen per dag	Treinsnelheid	Remwegafstand	Overbruggingsafstand in 10 minuten
9	40 km/uur	0,1 km	6,7 km
68	160 km/uur	1 km	27 km
95	300 km/uur	3,5 km	50 km

Figuur 4.6: Verdeling passerende treinen door de tunnel onder het Groene Hart (aanname 22)

@@ duidelijker uitleggen van de faalmechanismen

Op basis van eerder gemaakte aannamen zal de trein 10 minuten na het ontstaan van de brand een gedwongen stop maken. In deze 10 minuten kan de trein onbelemmerd doorrijden met een betrouwbaarheid van 1 % of 10 %, afhankelijk van de plaats van de brand. Dit betekent dat een trein brandend in de tunnel tot stilstand kan komen, indien de 10 minuten verstreken zijn. De snelheid van de trein en daarmee de remwegafstand hebben op dit eerste faalmechanisme geen invloed. De trein kan ook brandend in de tunnel tot stilstand komen als de trein gedwongen wordt eerder te stoppen dan de 10 minuten. In dit tweede faalmechanisme is de treinsnelheid wel van belang. Bij een snelheid van 300 km/uur kan de trein 50 km rijden en kan dus ook gedurende deze 50 km brand uitbreken.

Een beslissingsmodel met een go/no go beslissing kan niet de kans op het tweede faalmechanisme reduceren, maar alleen de faalkans van het eerste mechanisme. De go/no go beslissing levert met een betrouwbaarheid van 50 % een speelruimte van 1 minuut voor de machinist. De machinist kan deze minuut benutten om meteen een gecontroleerde stop in te zetten of om de tunnel uit te rijden. De effectieve tunnallengte kan hierdoor verkort worden met de afstand die de trein in 1 minuut kan overbruggen. Deze

afstand is afhankelijk van de snelheid van de trein op het beslismoment. Deze go/no go beslissing werkt alleen als de brand binnen 5 minuten na het ontstaan is gedetecteerd (zie figuur 4.10 & 4.11).

Op basis van bovenstaande overwegingen zijn voor een gedwongen stop in de tunnel twee faalmechanismen te onderscheiden met ook twee verschillende berekeningsmethoden.

1e faalmechanisme:

In de trein ontstaat brand en na 10 minuten is geen actie ondernomen door het personeel. De trein maakt na 10 minuten een gedwongen stop in de tunnel. Voor de berekening van de kans op een gedwongen stop in de tunnel wordt de brandkans per kilometer omgezet naar de kans op een brandende trein in de tunnel. De kans op een brandende trein in de tunnel ten gevolge van dit faalmechanisme is onafhankelijk van de treinsnelheid. Met een betrouwbaarheid van 90 % of 99 % start de trein een remprocedure, waardoor de trein tot stilstand komt. De effectieve tunnallengte kan verkort worden als de machinist binnen 10 minuten informatie krijgt en een go/no go beslissing neemt.

Het aantal relevante kilometers per jaar is als volgt te berekenen:

{lengte van de tunnel - {(faalkans go/no go beslissing) * (effect go/no go beslissing)} * {stopkans na 10 minuten} * {aantal treinen per jaar}

2e faalmechanisme:

De kans op brand is op iedere kilometer van het tracé aanwezig. De trein kan met een bepaalde betrouwbaarheid nog 10 minuten doorrijden na het ontstaan van de brand. De kans is echter aanwezig dat de trein binnen 10 minuten tot stilstand komt. De treinsnelheid speelt hierbij een belangrijke rol omdat bij een snelheid van 300 km/uur de trein in 10 minuten circa 50 kilometer kan afleggen. De kans op brand is voor iedere afgelegde treinkilometer gelijk en daarmee ook de kans op een eventuele stop binnen 10 minuten na het ontstaan van de brand.

Het aantal relevante kilometers per jaar is als volgt te berekenen:

{afgelegde treinafstand in 10 min.} * {stopkans binnen 10 minuten} * {aantal treinen per jaar}

In onderstaande berekening wordt onderscheid gemaakt naar de plaats van de brand, een vroege of late detectie en de snelheid van de trein.

Brand in het reizigers gedeelte:

$P_{\text{brand}} = 6 \cdot 10^{-9}$ per reizigerskilometer

$P_{\text{gedwongen stop binnen 10 min.}} = 0,01$

- $V_{\text{trein}} = 40$ km/uur

$$X_{10 \text{ min.}} = 6,7 \text{ km}$$

$$X_{1 \text{ min.}} = 0,67 \text{ km}$$

$$X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7\text{km} \cdot 0,99 + 6,7 \text{ km} \cdot 0,01\} \cdot (9 \cdot 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$$

$$X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7\text{km} \cdot 0,99 + 6,7 \text{ km} \cdot 0,01\} \cdot (9 \cdot 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$$

- $V_{\text{trein}} = 160$ km/uur

$$X_{10 \text{ min.}} = 27 \text{ km}$$

$$X_{1 \text{ min.}} = 2,7 \text{ km}$$

$$X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 \cdot 2,7)\text{km} \cdot 0,99 + 27 \text{ km} \cdot 0,01\} \cdot (68 \cdot 365) = 138.200 \text{ km/jaar}$$

$$X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,99 + 27 \text{ km} * 0,01\} * (68 * 365) = 171.300 \text{ km/jaar}$$

- $V_{\text{trein}} = 300 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 50 \text{ km}$
 $X_{1 \text{ min.}} = 5 \text{ km}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 5) \text{ km} * 0,99 + 50 \text{ km} * 0,01\} * (95 * 365) = 161.500 \text{ km/jaar}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,99 + 50 \text{ km} * 0,01\} * (95 * 365) = 247.300 \text{ km/jaar}$

Brand in een technische ruimte van de trein:

$$P_{\text{brand}} = 4 * 10^{-9} \text{ per reizigerskilometer}$$

$$P_{\text{gedwongen stop binnen 10 min.}} = 0,1$$

- $V_{\text{trein}} = 40 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 6,7 \text{ km}$
 $X_{1 \text{ min.}} = 0,67 \text{ km}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 6,7 \text{ km} * 0,1\} * (9 * 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 6,7 \text{ km} * 0,1\} * (9 * 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$
- $V_{\text{trein}} = 160 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 27 \text{ km}$
 $X_{1 \text{ min.}} = 2,7 \text{ km}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 2,7) \text{ km} * 0,9 + 27 \text{ km} * 0,1\} * (68 * 365) = 186.500 \text{ km/jaar}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 27 \text{ km} * 0,1\} * (68 * 365) = 216.700 \text{ km/jaar}$
- $V_{\text{trein}} = 300 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 50 \text{ km}$
 $X_{1 \text{ min.}} = 5 \text{ km}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 5) \text{ km} * 0,9 + 50 \text{ km} * 0,1\} * (95 * 365) = 304.400 \text{ km/jaar}$
 $X_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 50 \text{ km} * 0,1\} * (95 * 365) = 382.500 \text{ km/jaar}$

Conclusie:

- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in het reizigersgedeelte, na een vroege detectie:
 $22.000 \text{ km/jaar} + 138.200 \text{ km/jaar} + 161.500 \text{ km/jaar} = 321.700 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in het reizigersgedeelte, na een late detectie:
 $22.000 \text{ km/jaar} + 171.300 \text{ km/jaar} + 247.300 \text{ km/jaar} = 440.600 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in de technische ruimte, na een vroege detectie:
 $22.000 \text{ km/jaar} + 186.500 \text{ km/jaar} + 304.400 \text{ km/jaar} = 512.900 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in de technische ruimte, na een late detectie:
 $22.000 \text{ km/jaar} + 216.700 \text{ km/jaar} + 382.500 \text{ km/jaar} = 621.200 \text{ km/jaar}$

Indien bovenstaande gegevens worden ingevuld in de uitgewerkte gebeurtenissenbomen voor een brand in de technische ruimte en voor een brand in het reizigersgedeelte, is het resultaat als volgt:

$$P_{\text{brandende trein in tunnel/jaar}} = P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand in reizigersgedeelte, vroege detectie}} + P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand in reizigersgedeelte, late detectie}} + P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand in technische ruimte, vroege detectie}} + P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand in technische ruimte, late detectie}}$$

$$P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand reizigersgedeelte, vroege detectie}} = P_{\text{brand in reizigersgedeelte}} \cdot P_{\text{vroeg detectie}} \cdot P_{\text{niet blussen}} \cdot 321.700 \text{ km/jaar} \\ = 4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,6 \cdot 0,3 \cdot 321.700 = 2,3 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand reizigersgedeelte, late detectie}} = P_{\text{brand in reizigersgedeelte}} \cdot P_{\text{late detectie}} \cdot P_{\text{niet blussen}} \cdot 440.600 \text{ km/jaar} \\ = 4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot 440.600 = 4,2 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand technische ruimte, vroege detectie}} = P_{\text{brand technische ruimte}} \cdot P_{\text{vroeg detectie}} \cdot P_{\text{niet blussen}} \cdot 512.900 \text{ km/jaar} \\ = 6 \cdot 10^{-9} \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot 512.900 = 8,6 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{stop in tunnel/jaar, brand technische ruimte, late detectie}} = P_{\text{brand technische ruimte}} \cdot P_{\text{late detectie}} \cdot P_{\text{niet blussen}} \cdot 621.200 \text{ km/jaar} \\ = 6 \cdot 10^{-9} \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 621.200 = 20 \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{brandende trein in tunnel/jaar}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ per jaar.}$$

Voor dit referentie-ontwerp met bovenstaande aannamen is de kans op een brandende trein in de tunnel onder het Groene Hart $3,5 \cdot 10^{-3}$ per jaar.

4.4 Essentiële gebeurtenis C: Evacuatie

Het succes van de evacuatie wordt door een groot aantal factoren bepaald en dat maakt dat de werkelijkheid niet eenduidig is te modelleren. De risico-analyse is dan ook alleen bruikbaar om knelpunten in het evacuatie-proces te alloceren.

De volgende factoren zijn mede bepalend voor een succesvol verloop van de evacuatie:

- De lengte en capaciteit van de vluchtroute
- De mate van ontwikkeling van de brand en de bijbehorende rook, wanneer de trein tot stilstand komt
- De luchtsnelheid in de tunnel
- De plaats van de brand in de trein en de plaats van de brand t.o.v. de vluchtroutes
- De hoeveelheid reizigers in de trein en de conditie van de reizigers
- De reactiesnelheid van de reizigers bij het starten van de evacuatie
- Communicatie en duidelijkheid naar de reizigers over de mogelijke vluchtroutes
- De hoeveelheid gewonden die de doorstromingsnelheid beperken

De effectiviteit van de evacuatie wordt in dit risico-analyse model door de volgende maatgevende factoren bepaald:

- Het moment van starten van de evacuatie, nadat de trein tot stilstand is gekomen
- De ontwikkeling van de brand en de rook bepaalt de beschikbare evacuatietijd
- De evacuatiesnelheid van de reizigers

Voor de risico-analyse is een aantal aannamen gedaan:

Aanname 23: Als maatgevende treincombinatie voor een eventuele evacuatie wordt een trein aangehouden van het type DD-UIC-GC, met een bezetting van alle 1.350 zitplaatsen.

Aanname 24: Op het moment dat de trein door brand tot stilstand komt, zijn de reizigers nog niet in een levensbedreigende situatie geweest door rook- en of warmteontwikkeling of de snelreprocedure.

Aanname 25: De trein komt op de meest ongunstige plaats in de tunnel tot stilstand, namelijk precies in het midden van de tunnel. De afstand naar de uitgang is dan 3,4 km.

Aanname 26: De plaats van de brand in de trein is zodanig dat alle reizigers een gemiddelde afstand van 3,4 km moeten lopen naar de uitgang van de tunnel.

4.4.1 Essentiële gebeurtenis C.1: Snelle start evacuatie

Als de trein brandend in de tunnel tot stilstand komt, moet de evacuatie onmiddellijk op gang komen. De conducteur en/of de machinist moet via de omroepinstallatie de reiziger kort en bondig informeren over de situatie en hoe gehandeld moet worden. De deuren moeten aan de juiste zijde geopend worden en de mensen moeten zo spoedig mogelijk starten met evacueren.

Uit een analyse van menselijk gedrag bij brand blijkt dat circa 50 % van de aanwezigen geen actie onderneemt naar aanleiding van een signaal, zoals een snelle stop, rookontwikkeling o.i.d (zie paragraaf 3.3, deelrapport I & bijlage B.1, deelrapport III) Voor de risico-analyse wordt aangehouden dat de evacuatie zo snel mogelijk gestart wordt, nadat de trein tot stilstand komt. Als uitgangspunt wordt een start van de evacuatie binnen 2 minuten na de stop van de trein in de tunnel aangehouden.

Aanname 27: De evacuatie van de reizigers start 2 minuten na de stop van de trein in de tunnel.

4.4.2 Essentiële gebeurtenis C.2: Ontwikkeling van de brand

De ontwikkeling van de brand is van groot belang voor de beschikbare evacuatielijd. Rook vormt de grootste bedreiging voor reizigers en personeel. De mate van rookvergiftiging wordt bepaald door het tijdstip van het ontstaan van de brand in combinatie met het tijdstip van stilstand in de tunnel, de rookproductie van de brand, de mengfactor (hete rookgassen mengen minder dan koude rookgassen), ventilatietechniek, tunnelconstructie en omkeertijd van de rook. [Griffioen, december 1995]

Voor de risico-analyse is uitgegaan van een "worst case situatie" waarbij alle variabelen een ongunstige waarde krijgen toegekend. Voor de brand wordt uitgegaan van een brand die zich in tunnel ontwikkelt tot een vermogen van maximaal 20 MW. Bij deze brand ontstaan hete rookgassen.

Aanname 28: Bij de maatgevende brand van 20 MW ontstaan hete rookgassen.

Aanname 29: De luchtsnelheid in de tunnel is 0 m/sec (de tunnel bevat geen ventilatiesysteem).

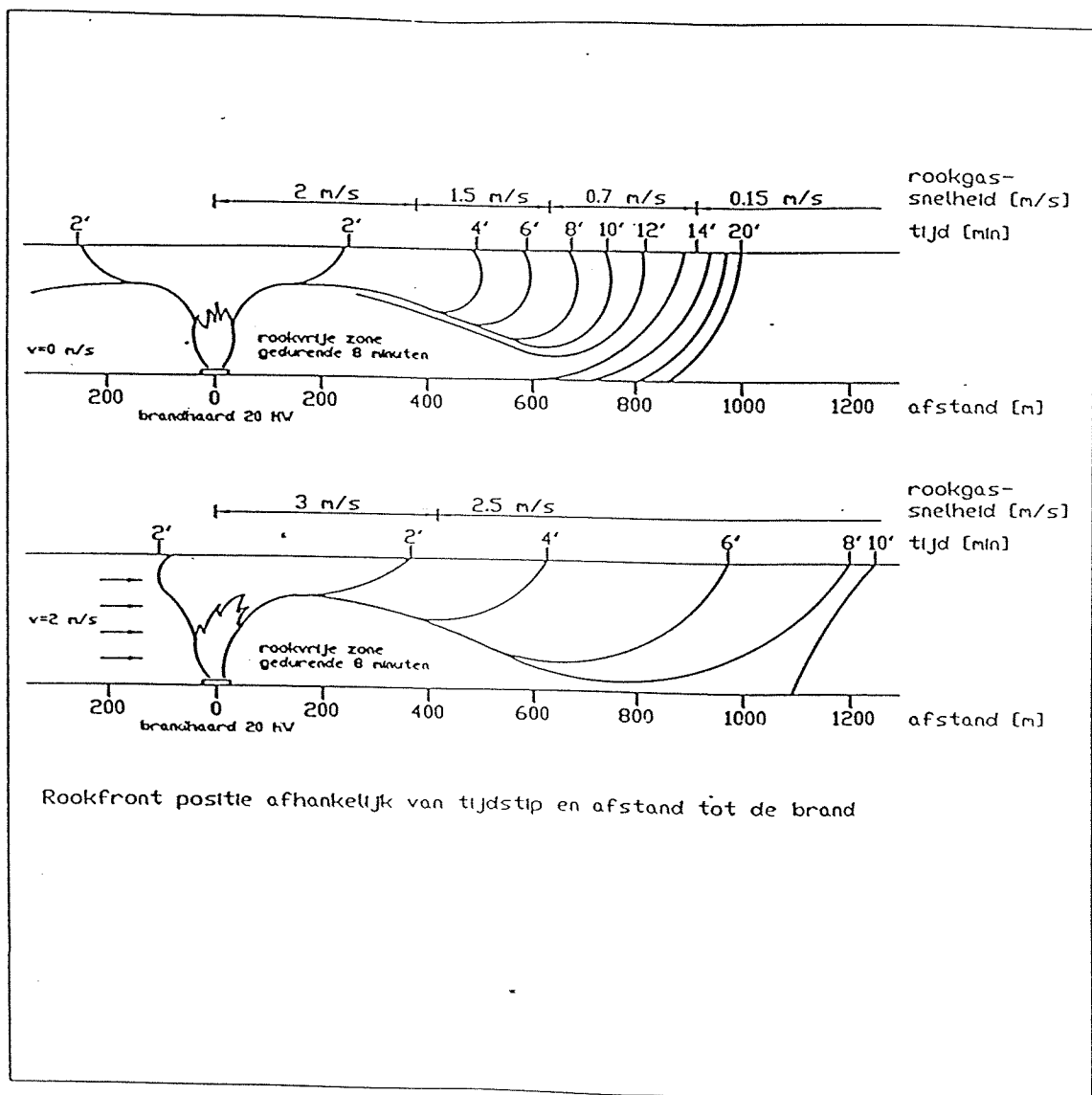
Met behulp van het PIARC rookmodel is de maatgevende situatie geanalyseerd (PIARC = Permanent International Association of Road Congresses). Bij de maatgevend brand van 20 MW zal de eerste 6 tot 8 minuten de zichtvrije hoogte groter zijn dan 2,5 meter (zie figuur 4.7). Na deze periode treedt menging op van rook en lucht en zal zichtverslechtering optreden. In ongeveer 20 minuten zal over een tunnel-lengte van 2 tot 3 kilometer gevuld zijn met rook. Vluchten of hulpverlening wordt zeer moeilijk. [Griffioen, december 1995]

Voor de berekening van de evacuatie-tijd is een aantal aannamen gedaan:

Aanname 30: De gemiddelde evacuatieloopsnelheid van de reiziger over het vluchtpad is 1 m/s (= 3,6 km/uur).

Aanname 31: Het vluchtpad naar het einde van de tunnel is 1,20 meter breed, waardoor per strekkende meter vluchtpad 4 mensen kunnen lopen/vluchten.

- Aanname 32: 8 Minuten nadat de trein tot stilstand is gekomen is de rookontwikkeling dusdanig dat invloed op het gedrag van de reizigers merkbaar wordt.
- Aanname 33: 20 Minuten na het ontstaan van de brand is 2 kilometer tunnel naast de trein gevuld met rook, waardoor vluchten niet meer mogelijk is.
- Aanname 34: De vluchtsnelheid van de reizigers neemt lineair af tot 0 m/sec, tussen 8 minuten en 20 minuten na het tot stilstand komen van de trein.
- Aanname 35: De vluchtsnelheid op 2 kilometer afstand van de brand wordt niet beïnvloed door de rookontwikkeling en is dan gelijk aan de oorspronkelijke vluchttijd.



Figuur 4.7: Rookfrontpositie afhankelijk van tijd en afstand

4.4.3 Essentiële gebeurtenis C.3: Evacuatie van de reizigers

Bij uitstaptijden is een groot aantal factoren van belang, bijvoorbeeld:

- De uitstaptijden van de valide reizigers zijn niet maatgevend.
- Relatief veel incidenten kunnen optreden die de uitstaptijd negatief beïnvloeden.
- Het aantal mensen dat op het perron staat te wachten, beïnvloedt de uitstaptijd sterk.
- De afmetingen van de deuren, de uitstapsituatie en de inrichting van de trein is van grote invloed.

Tijdens evacuatie van een trein zal de uitstapsnelheid hoger liggen dan bij normale uitstapsituaties. Echter het risico op incidenten die de uitstapsnelheid kunnen verstoren, zal hoger zijn. Dit risico is groter omdat de uitstapsituatie ongunstig is door het ontbreken van perrons in de tunnel. In de literatuur is een schatting gemaakt van de verschillende uitstapsnelheden bij de verschillende materieelsoorten (zie figuur 4.8).

Materieel	Aantal personen per trein/ minuut	
	snel	langzaam
ICR	334	139
DD-IRM IV	480	191
TGV-PBKA	139	60
ICE-3M	139	60
DD-UIC-GC	478	191

Figuur 4.8: Kentallen evacuatiesnelheid [Regt de, januari 1998]

Aanname 36: Als evacuatiesnelheid bij de maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 250 personen per minuut aangehouden, bij een gemiddelde evacuatie. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met 1,5 m/sec.

Aanname 37: Als evacuatiesnelheid bij de maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 450 personen per minuut aangehouden, bij een snelle evacuatie. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met 2 m/sec.

Aanname 38: Als evacuatiesnelheid bij de maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 193 personen per minuut aangehouden, bij een langzame evacuatie. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met 1 m/sec.

De evacuatiesnelheid wordt bepaald door het aantal gewonden en de lichamelijke conditie van de verschillende reizigers. Op basis van deze gegevens is een kansverdeling geschat voor de verschillende evacuatiesnelheden.

Aanname 39: Een hoge evacuatiesnelheid heeft een kans van optreden van 30 %, een gemiddelde evacuatiesnelheid heeft een kans van optreden van 40 % en een lage evacuatiesnelheid heeft een kans van optreden van 30 %.

Aanname 40: De evacuatie van de reizigers is slechts in één richting mogelijk door een ongunstige plaats van de brand in de trein.

De evacuatiesnelheden zijn te beïnvloeden door verlichting van de vluchtwegen, stroomlijning van de vluchtwegen, beperking van het aantal gewonden en de beperking van de paniek bij de reizigers tijdens de evacuatie.

Snelle evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- $1.350 \text{ reizigers}/450 = 3$ minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 2 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 2 + 3 minuten zijn de eerste reizigers 360 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt. Alle reizigers lopen over het vluchtpad met een totale lengte van 360 meter.
- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 720 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 360 meter minder ver, op 360 meter van de trein.

Aanname 41: Na 8 minuten neemt de vluchtsnelheid af door de rookontwikkeling. De afname van de vluchtsnelheid wordt gemiddeld over twee stappen. De eerste 6 minuten (van 8 minuten tot 14 minuten na ontstaan van de brand) is de gemiddelde vluchtsnelheid 1,5 m/sec. De tweede 6 minuten (van 14 minuten tot 20 minuten na het ontstaan van de brand) is de gemiddelde vluchtsnelheid 0,5 m/sec.

- Na 14 minuten zijn de eerste reizigers 1.260 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 900 meter van de trein vandaan (afstand van 540 meter afgelegd in 6 minuten, $V_{\text{gem}} = 1,5$ m/sec).
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.440 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 1.080 meter van de trein vandaan (afstand van 180 meter afgelegd in 6 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,5$ m/sec).

Na 20 minuten zijn de eerste reizigers circa 1.500 meter van de brand verwijderd, terwijl de rookontwikkeling zeer belemmerend werkt op vluchtsnelheid van de reizigers. Waarschijnlijk zal ongeveer 25 % van de reizigers met grote moeite op eigen kracht de uitgang van de tunnel kunnen bereiken bij deze snelle evacuatie. De geschatte 25 % van de reizigers die de uitgang bereiken, zijn de lichamelijk gezonde mensen, die rennend over het spoor vluchten.

Aanname 42: Indien de eerste reizigers op circa 1.500 meter van de brand verwijderd zijn na 20 minuten lopen, kan 25 % daarvan de uitgang van de tunnel bereiken, bij een snel evacuatieverloop.

Gemiddelde evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- $1.350 \text{ reizigers}/250 = 5,5$ minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 1,5 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 5,5 + 2 minuten zijn de eerste reizigers 495 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt (Alle reizigers lopen over het vluchtpad met een totale lengte van 495 meter).
- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 495 meter minder ver, op 45 meter van de trein.
- Na 14 minuten zijn de eerste reizigers 945 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 705 meter van de trein vandaan (afstand van 405 meter afgelegd in 6 minuten, $V_{\text{gem}} = 1,125$ m/sec).
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.145 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 905 meter van de trein vandaan (afstand van 200 meter afgelegd in 6 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,375$ m/sec).

Na 20 minuten zijn de eerste reizigers circa 1.150 meter van de brand verwijderd, waarbij de rookontwikkeling zeer belemmerend werkt op de vluchtsnelheid. Waarschijnlijk zal ongeveer 12,5 % van de

reizigers met grote moeite op eigen kracht de uitgang van de tunnel kunnen bereiken, bij deze gemiddelde evacuatie.

Aanname 43: Indien de eerste reizigers op circa 1.150 meter van de brand verwijderd zijn na 20 minuten lopen, kan 12,5 % daarvan de uitgang van de tunnel bereiken, bij een gemiddeld evacuatieverloop.

Langzame evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- 1.350 reizigers/193 = 7 minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 1 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 7 + 2 minuten zijn de eerste reizigers 420 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt (Alle reizigers lopen over het vluchtpad met een totale lengte van 330 meter).
- Na 14 minuten zijn de eerste reizigers 645 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 225 meter van de trein vandaan (afstand van 225 meter afgelegd in 5 minuten, $V_{gem} = 0,75$ m/sec).
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 735 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 315 meter van de trein vandaan (afstand van 90 meter afgelegd in 6 minuten, $V_{gem} = 0,25$ m/sec).

Na 20 minuten zijn de eerste reizigers circa 750 meter van de brand verwijderd, terwijl de rookontwikkeling zeer belemmerend werkt op vluchtsnelheid. Waarschijnlijk zal ongeveer 5 % van de reizigers met zeer grote moeite op eigen kracht de uitgang van de tunnel kunnen bereiken, bij deze zeer langzame evacuatie.

Aanname 44: Indien de eerste reizigers op circa 750 meter van de brand verwijderd zijn na 20 minuten lopen, kan 5 % van de aanwezige reizigers de uitgang van de tunnel bereiken, bij een langzame evacuatieverloop.

Conclusie:

$P_{snelle\ evacuatie} = 0,3; N = (1-0,25) * 1.350 = 1.010$ potentiële doden

$P_{gemiddelde\ evacuatie} = 0,4; N = (1-0,125) * 1.350 = 1.180$ potentiële doden

$P_{langzame\ evacuatie} = 0,3; N = (1-0,05) * 1.350 = 1.280$ potentiële doden

N.B.: Bij deze berekening van de evacuatielijd is de ontwikkeling van de brand en de variatie in de plaats van de brand in de trein niet meegenomen.

4.5 Essentiële gebeurtenis D: Hulpverlening

Bij een succesvolle hulpverlening zijn globaal twee partijen aanwezig, de brandweer en de GGD. De brandweer is de enige partij die het daadwerkelijke gevarengedied in de tunnel zal naderen. De GGD verzorgt de opvang van de eventuele doden en/of gewonden in gewondennesten in en/of buiten de tunnel.

De doelstelling van de brandweer is in eerste instantie het redden van de reizigers en het personeel in de tunnel. Vervolgens tracht zij de schade aan de constructie zoveel mogelijk te beperken. De brandweer heeft bij optredende calamiteiten een aanvalsplan voorhanden. Een brand in de tunnel wordt van twee kanten benaderd. De officier van de brandweer begeeft zich naar de bedieningsruimte, vanwaar de brandbestrijding wordt gecoördineerd. [Griffioen, december 1995]

De brandweer onderneemt achtereenvolgens de volgende acties in het hulpverleningsproces:

- Melding komt van Centrale Meldkamer.
- Aanvalsplan bepalen.
- Rijden naar de toegang van de tunnel.
- Contact met treindienstleider over ontgrendelen van toegangsdeuren.
- Aarden van de bovenleiding door de brandweer.
- Gebruik van verschillende gereedschappen.
- Acties van brandweercommandant in bedieningsruimte over de ventilatie-richting, het vullen van eventuele blusleidingen etc.

De procedure die de brandweer volgt, is opgebouwd uit een aantal stappen met een onderlinge afhankelijkheid. Het aanvalsplan kenmerkt zich door vaste procedures, die gedeeltelijk ook bij benadering van brand in gebouwen wordt gehanteerd. Dit levert een relatief hoge betrouwbaarheid.

De brandweer van Rotterdam geeft echter wel aan dat voor de Willemspoortunnel een adequate training van alle mogelijk betrokken brandweermensen zo goed als onmogelijk is (zie bijlage D.O, deelrapport III). De brandweer in Rotterdam garandeert binnen 30 minuten na een calamiteit 4 brandweerauto's met totaal 24 brandweerlieden beschikbaar te hebben. Op de overige plaatsen langs het tracé is dat slechts 2 brandweerauto's met 12 brandweerlieden. [PHZI, februari 1998]

Gezien de te verwachte snelheid waarmee een brand zich zal ontwikkelen, is het zeer de vraag of reddingsoperaties tijdig op gang zullen komen en veel kunnen uitrichten. De maximaal te verdragen luchttemperatuur voor de brandweer-hulpverleners is ongeveer 60 graden Celsius. Een vroegtijdige inzet is dus cruciaal, zodat de brand geen kans krijgt om heet te worden. Dit wordt voor een brandende trein in een tunnel geschat op tussen de 20 en 30 minuten (bron: Safety in Road and Rail Tunnels, 1995, pg 166). Op basis van een globale inschatting van de benodigde tijd voordat de hulpverleners tot actie kunnen overgaan, is de kans groot dat de brandweer de tunnelbuis met de brandende trein niet eens meer zal betreden. Dit betekent dat de mate van zelfredzaamheid voor de reizigers van doorslaggevend belang lijkt te zijn. [Kleinhans, februari 1998]

Aanname 45: 30 minuten na stilstand van de trein is de brand dusdanig ontwikkeld dat de trein slechts benaderd kan worden tot op een afstand van 500 meter.

Aanname 46: Bij een succesvolle hulpverlening is de brandweer met minimaal 2 brandweerauto's binnen 30 minuten aanwezig bij de toegang van de tunnel en bij een minder succesvolle hulpverlening binnen 45 minuten.

Aanname 47: De kans op aanwezigheid van de brandweer binnen 30 minuten is 80%. In 20 % van de gevallen is de brandweer binnen 45 minuten aanwezig.

De brandweer zal bij het binnentreden gebruik moeten maken van de persluchtmaskers. Deze persluchtmaskers hebben een maximale gebruikstijd van circa 20 minuten. In het referentie-ontwerp wordt aangenomen dat de persluchtmaskers gebruikt moeten worden op 2 kilometer afstand van de brandende trein.

Aanname 47: De brandweer moet persluchtmaskers gaan gebruiken binnen een afstand van 2 kilometer vanaf de brand. Deze persluchtmaskers kunnen 20 minuten gebruikt worden.

De brandweer gaat op het moment dat ze aanwezig is, de tunnel in om zoveel mogelijk achtergebleven reizigers uit de tunnel te halen. De brandweer wordt beoordeeld op hun prestatie binnen het "Gouden uur".

Aanname 49: Alle reizigers die niet uit zichzelf de tunnel zijn uitgekomen bevinden zich op een plaats binnen 2 kilometer vanaf de trein.

Aanname 50: Alle reizigers die niet binnen het "Gouden uur" uit de gevarezone van 2 kilometer vanaf de trein zijn verwijderd, zijn ten dode opgeschreven.

Aanname 51: Een brandweerman kan slechts één reiziger tegelijkertijd dragen en heeft dan een loop-snelheid van 1 m/sec (inclusief persluchtmasker e.d.).

Aanname 52: De brandweer richt in samenwerking met de GGD gewondennesten in op 2 kilometer afstand van de brandende trein.

Aanname 53: Een brandweerman moet gemiddeld circa 100 meter lopen naar een gewonde reiziger.

Snelle hulpverlening:

Bij een snelle hulpverlening is de brandweer binnen 30 minuten aanwezig en heeft vervolgens nog 30 minuten over om mensen te redden. De brandweermensen moeten met persluchtmaskers de tunnel in en de 1,4 kilometer overbruggen tot de plaats waar de bewusteloze reizigers zich bevinden. Het overbruggen van deze afstand kost circa 12 minuten, zodat nog 18 minuten effectieve hulpverleningstijd overblijft.

De brandweermensen moeten circa $2 * 100$ meter = 200 meter lopen om één reiziger uit de gevarezone te halen. Dit kost circa 3 minuten per geredde reiziger. In 18 minuten kan één brandweerman circa 6 reizigers redden. De brandweer is met 12 brandweerlieden aanwezig, waarvan 10 brandweerlieden de tunnel in kunnen gaan. Dat betekent dat $10 * 6 = 60$ reizigers gered kunnen worden.

Langzame hulpverlening:

Bij een langzame hulpverlening is de brandweer binnen 45 minuten aanwezig en heeft dan nog 15 minuten beschikbaar om mensen te redden. De brandweermensen moeten eerst met persluchtmaskers de tunnel in en de 1,4 kilometer overbruggen tot de plaats waar de bewusteloze reizigers zich bevinden. Het overbruggen van deze afstand kost circa 12 minuten, zodat nog 3 minuten effectieve hulpverleningstijd overblijft. In 3 minuten kan één brandweerman circa 1 reiziger redden. De 10 brandweerlieden kunnen 10 reizigers redden.

Conclusie:

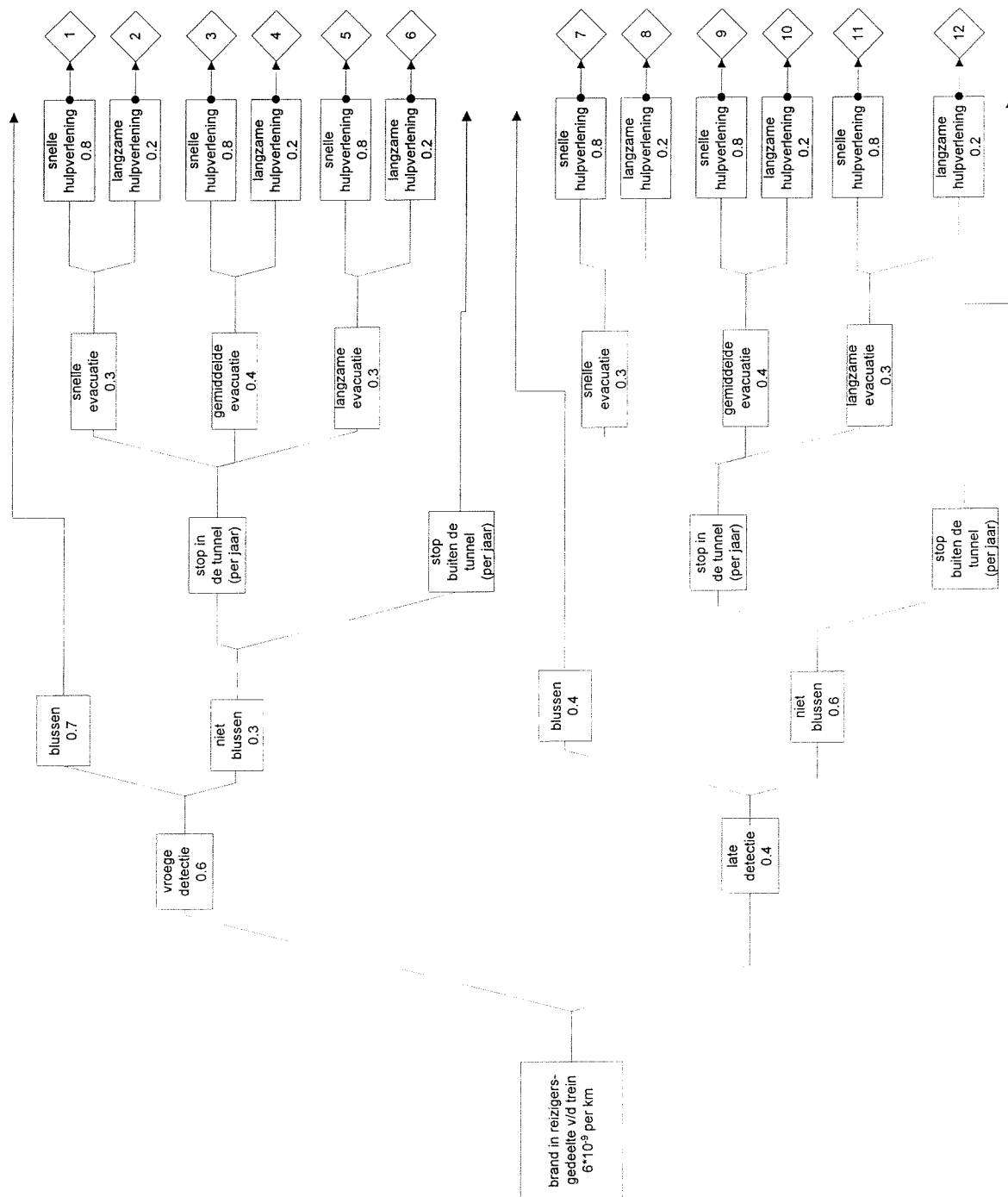
$P_{\text{snelle hulpverlening}} = 0,8$; $N_{\text{aantal geredde reizigers}} = 60$

$P_{\text{langzame hulpverlening}} = 0,2$; $N_{\text{aantal geredde reizigers}} = 10$

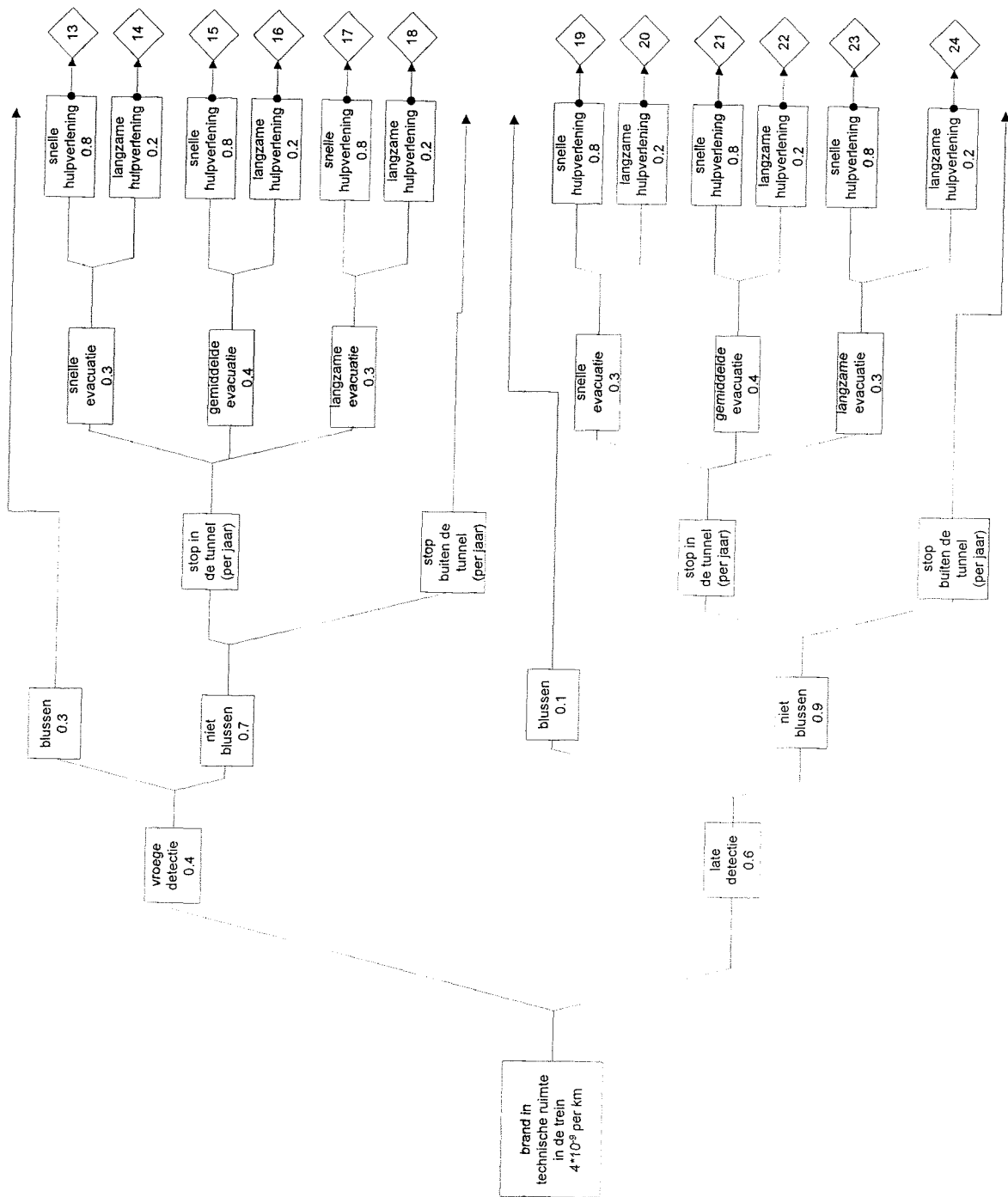
In deze modellering ten behoeve van de risico-analyse is weinig aandacht geschonken aan de verzorgings- en stabiliseringsfunctie van de gewonde reizigers door de hulpverleners. In de praktijk zal de hulpverlening aan een groot aantal mensen medische bijstand verlenen.

4.6 Resultaten t.a.v. veiligheid

In bovenstaande paragrafen is van de vier essentiële gebeurtenissen een schatting van de kans en het effect gemaakt, op basis van een aantal aannamen. Het resultaat is dat 24 verschillende brandscenario's ontstaan met verschillende kansen van optreden en een verschillend gevolg (zie figuur 4.9 & 4.10).



Figuur 4.9: Uitgewerkte gebeurtenissenboom "Brand in reizigersgedeelte"



Figuur 4.10: Uitgewerkte gebeurtenissenboom "Brand in technische ruimte"

Het resultaat van de kwantificering van de verschillende essentiële gebeurtenissen is berekend en weergegeven in figuur 4.11.

De karakteristieke waarde is berekend met behulp van de volgende formules:

$$\mu = \sum_i (P_i * N_{d,i})$$

$$\sigma = \{ \sum_i P_i * N_{d,i}^2 \}^{0.5}$$

$$KW = \mu + 3 \cdot \sigma$$

μ = gemiddelde

σ = standaardafwijking

KW = Karakteristieke Waarde

P_i = kans van optreden voor een scenario

$N_{d,i}$ = aantal slachtoffers

Voor meer informatie zie ook bijlage I.0 in deelrapport III.

Scenario	Kans op brand in de trein (per treinkilometer)	Detectie (vroeg of laat)	Kans op mislukte blusactie	Fictieve kilometers tunnel	Evacuatie (snelle, gem. of langzame evacuatie)	Aantal dodelijke slachtoffers	Hulpverlening (snelle of langzame hulpverlening)	Reductie slachtoffers door hulpverlening	Kans van optreden van het scenario (P)	Totale gevolg (aantal dodelijke slachtoffers; N)	$P \cdot N$	$P \cdot N \cdot N$
1	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1010	0,8	-60	8,338E-05	950	0,08	75,25
2	6E-09	0,6	0,3	321700	0,4	1180	0,2	-10	2,779E-05	1170	0,03	38,05
3	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1280	0,8	-60	8,338E-05	1220	0,10	124,11
4	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1010	0,2	-10	2,085E-05	1000	0,02	20,85
5	6E-09	0,6	0,3	321700	0,4	1180	0,8	-60	1,112E-04	1120	0,12	139,46
6	6E-09	0,6	0,3	321700	0,3	1280	0,2	-10	2,085E-05	1270	0,03	33,62
7	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1010	0,8	-60	1,523E-04	950	0,14	137,42
8	6E-09	0,4	0,6	440600	0,4	1180	0,2	-10	5,076E-05	1170	0,06	69,48
9	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1280	0,8	-60	1,523E-04	1220	0,19	226,64
10	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1010	0,2	-10	3,807E-05	1000	0,04	38,07
11	6E-09	0,4	0,6	440600	0,4	1180	0,8	-60	2,030E-04	1120	0,23	254,68
12	6E-09	0,4	0,6	440600	0,3	1280	0,2	-10	3,807E-05	1270	0,05	61,40
13	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1010	0,8	-60	1,379E-04	950	0,13	124,43
14	4E-09	0,4	0,7	512900	0,4	1180	0,2	-10	4,596E-05	1170	0,05	62,91
15	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1280	0,8	-60	1,379E-04	1220	0,17	205,20
16	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1010	0,2	-10	3,447E-05	1000	0,03	34,47
17	4E-09	0,4	0,7	512900	0,4	1180	0,8	-60	1,838E-04	1120	0,21	230,59
18	4E-09	0,4	0,7	512900	0,3	1280	0,2	-10	3,447E-05	1270	0,04	55,59
19	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1010	0,8	-60	3,220E-04	950	0,31	290,63
20	4E-09	0,6	0,9	621200	0,4	1180	0,2	-10	1,073E-04	1170	0,13	146,94
21	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1280	0,8	-60	3,220E-04	1220	0,39	479,31
22	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1010	0,2	-10	8,051E-05	1000	0,08	80,51
23	4E-09	0,6	0,9	621200	0,4	1180	0,8	-60	4,294E-04	1120	0,48	538,61
24	4E-09	0,6	0,9	621200	0,3	1280	0,2	-10	8,051E-05	1270	0,10	129,85
									gemiddelde			3,2
									standaardafwijking			60,0
									Karakteristieke Waarde			183,2

Figuur 4.11: Berekening risico's Gebeurtenissenbomen

5 Kwantificering veiligheidsmaatregelen

In dit hoofdstuk wordt het effect van een aantal veiligheidsmaatregelen in het referentie-ontwerp nader gekwantificeerd. Het kwantificeren van slechts een aantal veiligheidsmaatregelen is voldoende om de gevoeligheid van de verschillende typen maatregelen in de verschillende schakels van het systeem weer te geven. Uit de inventarisatie van mogelijke veiligheidsmaatregelen is een aantal maatregelen geselecteerd. Voor iedere veiligheidsmaatregel wordt een korte beschrijving gegeven van de werking van de maatregel, het effect in het referentie-ontwerp wordt gekwantificeerd, de kosten worden geschat en de invloed op de risiconiveaus wordt gekwantificeerd.

Het kwantificeren vereist een aantal aannamen dat zo realistisch mogelijk gekozen is en tijdens het risico-analyse proces expliciet vermeld worden. Deze aannamen zijn tot stand gekomen op basis van informatie uit de literatuur, mondelinge informatie van experts of simpelweg een schatting van de auteur. De keuze van de aannamen is van grote invloed op de uiteindelijke uitkomsten van de risico-analyse. De risico-analyse dient slechts om de gevoeligheid voor veiligheid van de verschillende maatregelen weer te geven. De risico-analyse moet dan ook niet gezien worden als een harde weergave van de werkelijkheid.

Bij het vergelijken van de verschillende veiligheidsmaatregelen worden twee soorten veiligheidsmaatregelen onderscheiden. Maatregelen die een eenmalige investering vereisen tijdens de bouw van het systeem en maatregelen die jaarlijkse investeringen vereisen. Om beide typen maatregelen onderling te kunnen vergelijken over de levensduur van 100 jaar van het project worden de jaarlijkse kosten contant gemaakt. De Netto Contante Waarde wordt in dit rapport met een rentevoet van 10 % en een vereenvoudigde formule berekend. De 100 jaar termijnen worden als oneindige reeks beschouwd, waardoor de Netto Contante Waarde 10 maal het jaarlijkse bedrag wordt.

In de laatste 15 jaar van de levensduur van de HSL-Zuid kan het geïnvesteerde vermogen tevens gebruikt worden om de veiligheidsmaatregelen te financieren. Dit voordeel wordt niet meegewogen, omdat de rentevoet van 10 % enigszins optimistisch is ingeschat.

Aanname 54: Om de eenmalige veiligheidsinvesteringen te vergelijken met de jaarlijkse veiligheidskosten wordt de Netto Contante Waarde van jaarlijkse veiligheidskosten gesteld op 10 maal de jaarlijkse kosten.

5.1 Veiligheidsmaatregelen schakel 1: Pro-actie

In deze paragraaf wordt de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de eerste schakel van de veiligheidsketen gekwantificeerd. Deze maatregelen concentreren zich allen sterk in de begingebourtenissen van de gebeurtenissenbomen zoals die gepresenteerd zijn in hoofdstuk 4 (zie figuur 4.9 en 4.10).

5.1.1 Maatregel 1.A: Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting

Uit de figuur 4.3 blijkt dat van de 12 grote branden in ieder geval 90 % van de branden in het reizigersgedeelte is veroorzaakt door brandstichting. De kans op brandstichting in de trein kan door continu toezicht verkleind worden. In iedere trein die onderdeel uitmaakt van de HSL-Zuid kan een extra treintoezichthouder in dienst genomen worden. Deze treintoezichthouder draagt zorg voor het welzijn van de

reizigers, is bereikbaar voor klachten en verhoogt het gevoel van sociale veiligheid. De conducteur blijft verantwoordelijk voor de vervoersbewijzen.

Effect in het referentie-ontwerp

Doordat de treintoezichthouder in de trein aanwezig is en het gedrag van de reizigers controleert, is geschat dat de kans op brandstichting met 30 % reduceert. De kans op brand per kilometer in het reizigersgedeelte van de trein neemt hierdoor met 25 % af van $6 \cdot 10^{-9}$ per treinkilometer tot $4,5 \cdot 10^{-9}$ per treinkilometer.

Doordat de treintoezichthouder rond loopt, neemt ook de kans op een snelle detectie toe. De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in het reizigersgedeelte neemt toe van 60 % naar 80 % (toename van 30 %). De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in de technische ruimte neemt toe van 40 % naar 50 % (toename van 25 %).

Aanname 55: Door één treintoezichthouder in iedere trein op de HSL-Zuid neemt de kans op brand in het reizigersgedeelte met 25 % af tot $4,5 \cdot 10^{-9}$ per treinkilometer.

Aanname 56: Door één treintoezichthouder in iedere trein op de HSL-Zuid neemt de kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van een brand in het reizigersgedeelte met 30 % toe tot 80 %.

Aanname 57: Door één treintoezichthouder in iedere trein op de HSL-Zuid neemt de kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van een brand in de technische ruimte met 25 % toe tot 50 %.

Kosten van de maatregel

Voor de HSL-Zuid rijden per dag circa 100 treinstellen HST over een afstand van 100 km met een topsnelheid van circa 300 km/uur. Daarnaast rijden tevens 72 shuttles van Breda naar Schiphol over een afstand van 90 km met een topsnelheid van 220 km/uur. De shuttles rijden circa 1 uur en de HST rijdt ook circa 1 uur over het traject. Een treintoezichthouder kan op een werkdag van 8 uur circa 4 shuttles bemannen of 4 HST's. Hierdoor moeten per dag $100/4 + 72/4 = 43$ treintoezichthouders in dienst genomen worden. Een treintoezichthouder kost circa 75 gulden/uur inclusief opleiding, coaching etc. Een geheel jaar lang één treintoezichthouder per trein op de HSL-Zuid kost $8 \cdot 75 \cdot 365 \cdot 43 = 9,5$ miljoen gulden. Voor een levensduur van 100 jaar betekent dit een Netto Contante Waarde van de kosten van 95 miljoen gulden.

Aanname 58: Eén treintoezichthouder per trein op de HSL-Zuid heeft een Netto Contante Waarde van de kosten van 95 miljoen gulden voor de levensduur van de HSL-Zuid.

Effect op de risiconiveaus van toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het gemiddelde (persoonlijk risico) daalt van 3,2 naar 2,7 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 168,9 slachtoffers per jaar.

5.1.2 Maatregel 1.B: Gebruik van brandwerend materiaal in de trein

De ontwikkeling van een brand in de trein wordt sterk beïnvloed door de brandbaarheid van het gebruikte materiaal in de trein. Mogelijkheden om de brandbaarheid van de trein te verminderen zijn o.a.:

- Brandbestendige/branddovende afvalbakken toepassen.

- Toepassen van onbrandbare/brandwerende/vertragende materialen in reizigersruimtes en in de technische ruimtes.
- Toepassen van handdroger in toiletten i.p.v. handdoekken.
- Regelmatig legen van afvalbakken in de trein.

Bovenstaande maatregelen reduceren de kans op het ontstaan van de brand en beïnvloeden de ontwikkelingsmogelijkheden van een eventuele brand.

Voor de HSL-Zuid zijn exploitatieve uitgangspunten opgesteld, waaruit een schatting gemaakt kan worden van de totale omvang van het materieel dat gebruik zal maken van de HSL-Zuid. [Hendriks, oktober 1997] Het materieel dat rijdt op de HSL-Zuid is als volgt opgebouwd:

- 27 stellen TGV van 70 miljoen per stuk.
- 10 stellen TGV, geschikt voor doorreis naar London van 70 miljoen per stuk.
- 15 shuttle-composities van 25 miljoen per stuk.

Effect in het referentie-ontwerp

Een sterke reductie in de brandbaarheid en de ontwikkelingsmogelijkheden van de brand vormt een grote beperking voor het uiteindelijk ontstaan van een grote brand. Indien bovenstaande maatregelen worden uitgewerkt en verwerkt in het toekomstige materieel kan de kans op een dusdanig grote brand met een factor 10 afnemen.

Aanname 59: De kans op brand wordt een factor 10 kleiner ten gevolge van het gebruik van brandwerend materiaal in de trein.

De brandkans daalt hierdoor van $6 \cdot 10^{-9}$ per treinkilometer voor de reizigersruimte naar $6 \cdot 10^{-10}$ per treinkilometer. De brandkans in de technische ruimte daalt ook met een factor 10 tot $4 \cdot 10^{-10}$ per treinkilometer.

Kosten van de maatregel

Voor de kosten is een schatting gemaakt, waarbij gebruik gemaakt is van de gegevens zoals die mondeling en schriftelijk zijn geleverd door experts. Geschat wordt dat bovenstaande maatregelen een kostenverhoging in het materieel van 2 % met zich meebrengen. Tevens wordt geschat dat het materieel een economische levensduur heeft van ongeveer 20 jaar, waardoor op de levensduur van 100 jaar voor de HSL-Zuid de extra kosten vier maal groter worden. Deze kosten worden gelijkmatig uitgespreid over de totale levensduur.

De Netto Contante Waarde van de kosten van bovenstaande maatregelen is als volgt te berekenen:

$0,02 \cdot (37 \text{ stellen TGV} \cdot 70 \text{ miljoen} + 15 \text{ shuttles} \cdot 25 \text{ miljoen}) \approx 60 \text{ miljoen}$

Op een levensduur van 100 jaar: $5 \text{ maal} \cdot 60 \text{ miljoen} = 300 \text{ miljoen}$.

De Netto Contante Waarde wordt: $300 \text{ miljoen} / 100 \text{ jaar} \cdot 10 = 30 \text{ miljoen}$

Aanname 60: Het gebruik van extra brandwerend materiaal in de trein heeft een Netto Contante Waarde van de kosten van 30 miljoen.

Effect op de risiconiveaus bij het gebruik van brandwerend materiaal in de trein

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 0,4 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 62,4 slachtoffers per jaar.

5.1.3 Maatregel 1.C: Intensieve training van personeel over handelen bij brand

Bij de kwantificering van het referentie-ontwerp blijkt dat de communicatie tussen het treinpersoneel onderling een essentiële schakel vormt in het gehele systeem. Een goede jaarlijkse training van alle betrokken personeelsleden vergroot de reactiesnelheid van het personeel in geval een calamiteit zich voordoet. Dit heeft met name effect op de overdracht van de juiste informatie naar de machinist. Het effect op een eventuele blusactie is verwaarloosbaar, doordat het personeel niet altijd ter plaatse van de calamiteit zal zijn.

Effect in het referentie-ontwerp

Indien het personeel maximaal getraind is zal de informatie-overdracht sneller plaats vinden, waardoor de machinist in plaats van 1 minuut nog 2 minuten beslissingsruimte overheeft. Dit betekent dat een adequate informatie-overdracht nu van 3 minuten in 2 minuten plaats vindt met een betrouwbaarheid van 50 %.

Aanname 61: Een jaarlijkse training van het treinpersoneel vergroot de reactiesnelheid voor een adequate informatie-overdracht van 3 minuten doorlooptijd naar 2 minuten met een gelijke betrouwbaarheid van 50 %.

Het resultaat is dat de machinist 2 minuten beslissingstijd heeft, waardoor het aantal fictieve tunnelkilometers kleiner wordt. Het nieuwe aantal fictieve treinkilometers is berekend op dezelfde wijze als in paragraaf 4.3.3.

Brand in het reizigers gedeelte:

$$P_{\text{brand}} = 6 * 10^{-9} \text{ per reizigerskilometer}$$

$$P_{\text{gedwongen stop binnen 10 min.}} = 0,01$$

- $V_{\text{trein}} = 40 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 6,7 \text{ km}$
 $X_{1 \text{ min.}} = 1,34 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 1,34) \text{ km} * 0,99 + 6,7 \text{ km} * 0,01\} * (9 * 365) = 198.00 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,99 + 6,7 \text{ km} * 0,01\} * (9 * 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$
- $V_{\text{trein}} = 160 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 27 \text{ km}$
 $X_{2 \text{ min.}} = 5,4 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 5,4) \text{ km} * 0,99 + 27 \text{ km} * 0,01\} * (68 * 365) = 105.000 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,99 + 27 \text{ km} * 0,01\} * (68 * 365) = 171.300 \text{ km/jaar}$
- $V_{\text{trein}} = 300 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 50 \text{ km}$
 $X_{2 \text{ min.}} = 10 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 10) \text{ km} * 0,99 + 50 \text{ km} * 0,01\} * (95 * 365) = 75.700 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,99 + 50 \text{ km} * 0,01\} * (95 * 365) = 247.300 \text{ km/jaar}$

Brand in een technische ruimte van de trein:

$$P_{\text{brand}} = 4 * 10^{-9} \text{ per reizigerskilometer}$$

$$P_{\text{gedwongen stop binnen 10 min.}} = 0,1$$

- $V_{\text{trein}} = 40 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 6,7 \text{ km}$
 $X_{2 \text{ min.}} = 1,34 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 1,34) \text{ km} * 0,9 + 6,7 \text{ km} * 0,1\} * (9 * 365) = 20.000 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 6,7 \text{ km} * 0,1\} * (9 * 365) = 22.000 \text{ km/jaar}$

- $V_{\text{trein}} = 160 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 27 \text{ km}$
 $X_{2 \text{ min.}} = 5,4 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 5,4) \text{ km} * 0,9 + 27 \text{ km} * 0,1\} * (68 * 365) = 156.400 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 27 \text{ km} * 0,1\} * (68 * 365) = 216.700 \text{ km/jaar}$

- $V_{\text{trein}} = 300 \text{ km/uur}$
 $X_{10 \text{ min.}} = 50 \text{ km}$
 $X_{2 \text{ min.}} = 10 \text{ km}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, vroege detectie}} = \{6,7 - (0,5 * 10) \text{ km} * 0,9 + 50 \text{ km} * 0,1\} * (95 * 365) = 226.400 \text{ km/jaar}$
 $P_{\text{stop in de tunnel, late detectie}} = \{6,7 \text{ km} * 0,9 + 50 \text{ km} * 0,1\} * (95 * 365) = 382.500 \text{ km/jaar}$

Conclusie:

- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in het reizigersgedeelte, na een vroege detectie: $19.800 \text{ km/jaar} + 105.000 \text{ km/jaar} + 75.700 \text{ km/jaar} = 200.500 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in het reizigersgedeelte, na een late detectie: $22.000 \text{ km/jaar} + 171.300 \text{ km/jaar} + 247.300 \text{ km/jaar} = 440.600 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in de technische ruimte, na een vroege detectie: $20.000 \text{ km/jaar} + 156.400 \text{ km/jaar} + 226.400 \text{ km/jaar} = 402.800 \text{ km/jaar}$
- Maatgevend aantal kilometers, bij een brand in de technische ruimte, na een late detectie: $22.000 \text{ km/jaar} + 216.700 \text{ km/jaar} + 382.500 \text{ km/jaar} = 621.200 \text{ km/jaar}$

Kosten van de maatregel

Voor de totale personeelsomvang is een schatting gemaakt, op basis van de veronderstelling dat per 100 reizigers circa 2 personeelsleden aanwezig zijn in de trein. De vervoersprognose voor de HSL-Zuid is $1,76 * 10^9$ reizigerskilometers per jaar met een gemiddelde reisafstand van 61 kilometer. [PHZ, september 1997] De berekening van het aantal reizigers in een gemiddelde trein op het HSL-Zuid tracé is als volgt:
 $1,76 * 10^9 / 61 \text{ km} / 172 \text{ treinen per dag} / 365 \text{ dagen} = 450 \text{ reizigers per trein.}$

Dit betekent dat in één trein circa 4 personeelsleden aanwezig zijn, die gemiddeld in 4 treinen rijden per werkdag van 8 uur. 172 Treinen per dag betekent dan ook gemiddeld 172 personeelsleden per dag. Om per dag 172 personeelsleden in dienst te hebben moet het personeelsbestand circa 2 maal zo groot zijn omdat niet al het personeel fulltime werkt en al circa 3 dagen per week verloren gaan aan weekend en vakantie. Dit betekent dus een personeelsbestand voor de HSL-Zuid van circa 350 mensen.

Een jaarlijkse intensieve training over hoe te handelen bij brand kost circa $f 2.000,-$ gulden per personeelslid. Dit kost dus circa $f 700.000,-$ gulden per jaar en voor de levensduur van de HSL-Zuid van 100 jaar is de Netto Contante Waarde van de kosten 7 miljoen gulden.

Aanname 62: Een jaarlijks intensieve training van treinpersoneel over hoe om te gaan met brand heeft een Netto Contante Waarde van de kosten van 7 miljoen gulden

Effect op de risiconiveaus van intensieve training van personeel

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 2,9 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 174,8 slachtoffers per jaar.

5.2 Veiligheidsmaatregelen schakel 2: Preventie

In deze paragraaf wordt de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de tweede schakel van de veiligheidsketen gekwantificeerd. Deze maatregelen concentreren zich allen sterk op de activiteiten die plaats vinden direct na de begingebuurtenis zoals die gepresenteerd zijn in hoofdstuk 4 (zie figuur 4.9 en 4.10).

5.2.1 Maatregel 2.A: Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers

Zuurstofmaskers in de trein kunnen net als bij een vliegtuig de reizigers zuivere lucht leveren, waardoor de kans op rookvergiftiging in de trein of tijdens de evacuatie sterk afneemt. Deze zuurstofmaskers zijn echter zeer gevoelig voor storingen en vereisen relatief veel onderhoud. Bovendien zijn draagbare zuurstofmaskers kwetsbaar voor vandalisme en zijn grote aanpassingen vereist in de trein. Indien in iedere trein bijvoorbeeld 1350 zuurstofmaskers aanwezig moeten zijn, vereist dit zeer veel opbergruimte en een grote beperking in exploitatie voor onderhoud en beheer. Bovendien zal de gebruiker geïnstrueerd moeten worden over het gebruik van de zuurstofmaskers. Dit vereist wederom een groot aantal aanpassingen in de trein en in het gebruik van de trein en stelt grote eisen aan het personeel.

Op basis van bovenstaande overwegingen is deze maatregel niet nader gekwantificeerd. De beperkingen van deze maatregel zijn erg groot en zeer divers, waardoor de betrouwbaarheid van de maatregel niet zeer groot zal zijn. De investerings- en onderhoudskosten zijn waarschijnlijk zeer hoog.

5.2.2 Maatregel 2.B: Automatische branddetectie in technische ruimtes

Een brandmeldingssysteem in technische ruimtes kan in een vroegtijdig stadium van de brand eventuele rook en/of hitte detecteren. Een vroegtijdig detectie van een brand in de technische ruimtes vergroot de beslissingsmogelijkheden voor het personeel waardoor de kans dat de trein uiteindelijk brandend in de tunnel tot stilstand komt, afneemt.

Effect in het referentie-ontwerp

Het toepassen van een branddetectiesysteem verkleint niet de kans op het ontstaan van de brand maar vergroot wel de kans op een vroegtijdige ontdekking. De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in de technische ruimte neemt met 50 % toe, van 40 % naar 60 %.

Aanname 63: De kans op detectie binnen 5 minuten na het ontstaan van de brand in de technische ruimte is 60 % bij toepassing van een branddetectiesysteem in alle technische ruimtes van de trein.

Kosten van de maatregel

De kosten van het toepassen van een branddetectiesysteem in alle technische ruimtes van de trein zijn geschat op vergelijkbare wijze als bij de toepassing van onbrandbaar materiaal in de trein (zie paragraaf 5.1.2). Geschat wordt dat bovenstaande maatregel een kostenverhoging in het materieel van circa 1 % met zich meebrengt. De kosten van bovenstaande maatregelen zijn als volgt te berekenen:

$0,01 * (37 \text{ stellen TGV} * 70 \text{ miljoen} + 15 \text{ shuttles} * 25 \text{ miljoen}) \approx 30 \text{ miljoen}$
Op een levensduur van 100 jaar: $5 \text{ maal} * 30 \text{ miljoen} = 150 \text{ miljoen}$.
De Netto Contante Waarde wordt: $150 \text{ miljoen} / 100 \text{ jaar} * 10 = 15 \text{ miljoen}$

Aanname 64: Het toepassen van een branddetectiesysteem in de technische ruimtes van de trein heeft een Netto Contante Waarde van de kosten van 15 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van automatische branddetectie in technische ruimtes

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 3,0 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 177,9 slachtoffers per jaar.

5.3 Veiligheidsmaatregelen schakel 3: Preparatie

In deze paragraaf wordt de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de derde schakel van de veiligheidsketen gekwantificeerd. Deze maatregelen concentreren zich allen sterk op de voorbereiding van de repressie-fase, waarin de evacuatie van de reizigers plaatsvindt. Deze veiligheidsmaatregelen zijn van invloed op het verloop van de evacuatie in de gebeurtenissenbomen zoals die gepresenteerd zijn in hoofdstuk 4 (zie figuur 4.9 en 4.10).

5.3.1 Maatregel 3.A: Ventilatie

Als de trein brandend tot stilstand is gekomen in de tunnel vormt rookvergiftiging de grootste bedreiging voor de reizigers. Deze rookvergiftiging ontstaat door onvolledige verbranding zodat koolstofmonoxide wordt gevormd. Een ventilatiesysteem in de tunnel kan bijdragen aan een scheiding van de rook en de reizigers. In het referentie-ontwerp wordt geen ventilatie toegepast, waardoor de reizigers circa 8 minuten hebben om te vluchten, voordat de rookontwikkeling het evacuatieproces sterk belemmert.

Het ventilatiesysteem kan volgens twee hoofdprincipes werken. Het ventilatiesysteem kan de stratificatie in de tunneldoorsnede in stand houden. Een lichte ventilatie aan de bovenzijde van de tunnel zorgt dat de rook vrij blijft van de onderzijde van de tunnel. De reizigers kunnen aan de onderzijde van de tunnel in beide richtingen vluchten. De koude luchtstroming aan de onderzijde zorgt voor een toevoer van zuurstof waardoor de verbranding vollediger wordt en minder koolstofmonoxide ontstaat.

Het ventilatiesysteem kan ook dienen om een sterke luchtstroming in gang te zetten waardoor alle rook één richting opgeblazen wordt. Eén zijde van de brand zal volledig rookvrij worden zodat deze zijde gebruikt kan worden voor evacuatie en hulpverlening. De andere zijde van de brand is echter volledig met rook gevuld zodat reizigers weinig kans hebben om in deze richting te ontkomen.

De effectiviteit van het ventilatiesysteem is van een groot aantal factoren afhankelijk. Zeer belangrijk is om in een vroegtijdig stadium te weten waar de brand zich in de trein bevindt. Deze informatie is van belang om te weten welk ventilatieprincipe toegepast moet gaan worden om maximaal rendement te kunnen halen. Daarnaast is de rookontwikkeling van de brand essentieel bij de keuze voor het ventilatieprincipe en vormt ook de natuurlijke luchtstroom in de tunnel een essentiële factor.

Deze complexiteit in het ventilatiesysteem maakt dat geen eenduidige ventilatiestrategie beschikbaar is, maar dat de strategie sterk afhangt van de specifieke omstandigheden. Dit vereist dat de gas- en rookontwikkeling in de tunnel gemeten moet worden, dat de natuurlijke luchtstroming bekend moet zijn en dat de plaats van de brand in de trein bekend moet zijn. Indien al deze informatie op tijd beschikbaar is kan een ventilatiesysteem effectief toegepast worden. Daarnaast heeft een eventuele aanwezigheid

van overige treinen in de tunnel een grote invloed op de luchtstroming in de tunnel (zie ook de brand in de Kanaaltunnel; deelrapport III, bijlage G).

Bovenstaande overwegingen tonen dat de mogelijkheden van een ventilatiesysteem groot zijn maar dat de betrouwbaarheid sterk afhangt van de beschikbare informatie. Iedere brand heeft een eigen verloop waarop de ventilatiestrategie aangepast dient te worden.

Effect in het referentie-ontwerp

Bovenstaande overwegingen tonen dat het effect van het ventilatiesysteem niet eenduidig is weer te geven. Voor dit referentie-ontwerp wordt aangenomen dat de ventilatiestrategie is om in eerste instantie de stratificatie van de luchtlagen in stand te houden. Een hoogstaand ventilatiesysteem met een bijbehorende ventilatiestrategie kan de beschikbare vluchttijd met circa 50 % vergroten door zorgvuldig de stratificatie in stand te houden. Dit betekent dat de beschikbaar vluchttijd toeneemt tot 12 minuten.

De berekening van het effect van de evacuatie wordt op vergelijkbare manier uitgevoerd als bij het referentie-ontwerp.

Snelle evacuatie:

- Na 12 minuten zijn de eerste reizigers 1.200 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 360 meter minder ver, op 840 meter van de trein.
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.680 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 1.320 meter van de trein vandaan (afstand van 480 meter afgelegd in 8 minuten, $V_{gem} = 1$ m/sec).

De reizigers zijn ten opzichte van het referentie-ontwerp circa 200 meter verder verwijderd van de brand. Een toename van 25% naar 30 % van de aanwezige reizigers die de uitgang van de tunnel bereiken lijkt dan ook reëel.

Gemiddelde evacuatie:

- Na 12 minuten zijn de eerste reizigers 900 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 495 meter minder ver, op 405 meter van de trein.
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.260 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 765 meter van de trein vandaan (afstand van 360 meter afgelegd in 8 minuten, $V_{gem} = 0,75$ m/sec).

De reizigers zijn ten opzichte van het referentie-ontwerp circa 100 meter verder verwijderd van de brand, waardoor een toename tot 15 % van de aanwezige reizigers die de uitgang van de tunnel bereiken, reëel lijkt.

Langzame evacuatie:

- Na 12 minuten zijn de eerste reizigers 600 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 330 meter minder ver, op 270 meter van de trein.
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 840 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 510 meter van de trein vandaan (afstand van 240 meter afgelegd in 8 minuten, $V_{gem} = 0,5$ m/sec).

De reizigers zijn ten opzichte van het referentie-ontwerp circa 100 meter verder verwijderd van de brand, waardoor een toename tot 6 % van de aanwezige reizigers die de uitgang van de tunnel bereiken, reëel lijkt.

Conclusie:

$P_{snelle\ evacuatie} = 0,3; N = (1-0,30) * 1.350 = 945$ potentiële doden

$P_{gemiddelde\ evacuatie} = 0,4; N = (1-0,15) * 1.350 = 1.150$ potentiële doden

$P_{langzame\ evacuatie} = 0,3; N = (1-0,06) * 1.350 = 1.270$ potentiële doden

Aanname 65: Het aantal potentiële slachtoffers daalt van 1.010 naar 945 bij een snelle evacuatie, van 1.180 naar 1.150 bij een gemiddelde evacuatie en van 1.280 naar 1.270 bij een langzame evacuatie

Kosten van de maatregel

De kosten van een hoogwaardig ventilatiesysteem worden geschat op 100.000 gulden per 100 meter tunnel, waardoor de totale kosten circa 7 miljoen gulden zijn.

Aanname 66: De totale kosten van een hoogwaardig ventilatiesysteem bedragen circa 7 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus bij toepassing van ventilatie

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 3,1 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 177,9 slachtoffers per jaar.

5.3.2 Maatregel 3.B: Dwarsverbindingen om de 750 meter

In het referentie-ontwerp moeten de reizigers bij een eventuele evacuatie vluchten over het vluchtpad naar het uiteinde van de tunnel. Dit betekent dat alle reizigers een maximale afstand moeten overbruggen van 3,4 kilometer. Bij het gebruik van dwarsverbindingen wordt de andere tunnelbuis de veilige ruimte, waar de reizigers heen vluchten. Dit betekent dat de andere tunnelbuis vrij moet zijn van treinen om te voorkomen dat de vluchtende reizigers aangereden worden door de trein. In de dwarsverbindingen zijn deuren opgenomen die geopend worden als de nevenbuis vrij is van treinverkeer.

Voor de grove berekening van het effect van de dwarsverbindingen is een aantal aannamen geformuleerd, op basis van de literatuur: [Wijnands, februari 1998]

Aanname 67: De trein komt tot stilstand op de meest ongunstige plek in de tunnel, waardoor één vluchtdeur is versperd zodat de reizigers een afstand moeten lopen die gelijk is aan de afstand tussen de vluchtdeuren.

Aanname 77: De brand bevindt zich op de kop van de trein zodat alle reizigers één kant op vluchten.

Aanname 78: Direct na de stop van de trein in de tunnel springt het sein op het nevenspoor op rood.

Aanname 79: De vluchtdeuren bieden doorgang aan twee personen per seconde.

Effect in het referentie-ontwerp

Het effect in het referentie-ontwerp is dat alle 1.350 reizigers niet langer 3,4 kilometer moet lopen naar een veilige ruimte, maar slechts 750 meter. De berekening van het effect van de evacuatie wordt op vergelijkbare manier uitgevoerd als bij het referentie-ontwerp.

Snelle evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 720 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 360 meter minder ver, op 360 meter van de trein ($V = 2$ m/sec).

In het referentie-ontwerp is aangenomen dat na 8 minuten vluchtsnelheid afneemt door de rookontwikkeling. Na 20 minuten is de vluchttijd gereduceerd tot 0 m/sec.

- Na 12 minuten zijn de laatste reizigers 760 meter van de trein vandaan ($V_{\text{gem}} = 1,66$ m/sec).

Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers niet op tijd de dwarsverbinding bereiken en achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 80: Bij een snel evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 750 meter zal 5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Gemiddelde evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 495 meter minder ver, op 45 meter van de trein ($V = 1,5$ m/sec).

- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.080 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 585 meter van de trein vandaan (afstand van 540 meter afgelegd in 12 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,75$ m/sec).

Na 20 minuten heeft 65 % van de reizigers de dwarsverbinding bereikt. Van de overige 35 % van de reizigers zal nog circa 25 % de dwarsverbinding kunnen bereiken.

Aanname 81: Bij een gemiddeld evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 750 meter zal 25 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Langzame evacuatie:

- Na 9 minuten zijn de eerste reizigers 420 meter van de trein verwijderd en is de laatste reiziger uitgestapt.

- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 750 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 330 meter van de trein vandaan (afstand van 330 meter afgelegd in 11 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,5$ m/sec).

Na 20 minuten hebben de eerste reizigers de dwarsverbinding bereikt. Circa 25 % van alle reizigers kan de andere tunnelbuis door de dwarsverbinding bereiken. De overige 75 % zal in de tunnelbuis achterblijven.

Aanname 82: Bij een langzaam evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 750 meter zal 75 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Conclusie:

$P_{\text{snelle evacuatie}} = 0,3$; $N = 0,05 * 1.350 = 70$ potentiële doden

$P_{\text{gemiddelde evacuatie}} = 0,4$; $N = 0,25 * 1.350 = 340$ potentiële doden

$P_{\text{langzame evacuatie}} = 0,3$; $N = 0,75 * 1.350 = 1.010$ potentiële doden

Het toepassen van dwarsverbindingen heeft ook enige invloed op de hulpverlening. Bij een snelle hulpverlening is de brandweer na 30 minuten aanwezig bij de uitgang van de tunnel. In het referentie-ontwerp is gemodelleerd dat de brandweerlieden 2*100 meter moeten lopen om reizigers uit de gevarezone te redden. Het gebruik van de dwarsverbindingen zal geen essentiële verbetering van de hulpverlening opleveren voor het redden van reizigers uit de tunnelbuis met de brandende trein en de grote hoeveelheid

rook. Voor het kwantificeren van het effect van de dwarsverbindingen in het referentie-ontwerp is aangenomen dat het effect op het rendement van de hulpverlening verwaarloosbaar is.

Aanname 83: Het effect van het gebruik van dwarsverbindingen op het rendement van de hulpverlening in het referentie-ontwerp wordt verwaarloosd.

Kosten van de maatregel

De constructieve kosten van één dwarsverbinding zijn door het boortunnelteam van de HSL-Zuid geraamd op ongeveer 2.125 miljoen gulden. De kosten van een volledig ingericht dwarsverbinding zijn geschat op 3,5 miljoen gulden (zie ook Westerschelde Oeververbinding, bijlage E.0, Deelrapport III). Het geboorde tunnelgedeelte heeft een lengte van 6,7 kilometer. Een dwarsverbinding om de 750 meter betekent een totaal van 9 dwarsverbindingen. De totale kosten bedragen $9 \cdot 3,5 \approx 31,5$ miljoen gulden.

Aanname 84: Het construeren van dwarsverbindingen om de 750 meter in de boortunnel onder het Groene Hart kost in totaal 31,5 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van dwarsverbindingen om de 750 meter

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 1,2 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 91,2 slachtoffers per jaar.

5.3.3 Maatregel 3.C: Dwarsverbindingen om de 500 meter

Voor dwarsverbindingen om de 500 meter geldt hetzelfde als bij dwarsverbindingen om de 750 meter.

Effect in het referentie-ontwerp

Het effect in het referentie-ontwerp is dat alle 1.350 reizigers niet langer 3,4 kilometer moeten lopen naar een veilige ruimte, maar slechts 500 meter. De berekening van het effect van de evacuatie wordt op vergelijkbare manier uitgevoerd als bij het referentie-ontwerp.

Snelle evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 720 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 360 meter minder ver, op 360 meter van de trein ($V = 2$ m/sec).

In het referentie-ontwerp is aangenomen dat na 8 minuten vluchtsnelheid afneemt door de rookontwikkeling. Na 20 minuten is de vluchttijd gereduceerd tot 0 m/sec.

- Na 10 minuten zijn de laatste reizigers 580 meter van de trein vandaan ($V_{\text{gem}} = 1,83$ m/sec).

Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers niet op tijd de dwarsverbinding kunnen bereiken en achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 85: Bij een snel evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 2.5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Gemiddelde evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 495 meter minder ver, op 45 meter van de trein ($V = 1,5$ m/sec).
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1080 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 585 meter van de trein vandaan (afstand van 540 meter afgelegd in 12 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,75$ m/sec).

Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 86: Bij een gemiddeld evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Langzame evacuatie:

- Na 9 minuten zijn de eerste reizigers 420 meter van de trein verwijderd en is de laatste reiziger uitgestapt.
 - Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 750 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 330 meter van de trein vandaan (afstand van 330 meter afgelegd in 11 minuten, $V_{gem} = 0,5$ m/sec).
- Na 20 minuten heeft 60 % van de reizigers de dwarsverbinding bereikt. Van de overige 40 % van de reizigers zal nog circa 25 % de dwarsverbinding kunnen bereiken.

Aanname 87: Bij een langzaam evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 30 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Conclusie:

$P_{snelle\ evacuatie} = 0,3$; $N = 0,025 * 1.350 = 35$ potentiële doden

$P_{gemiddelde\ evacuatie} = 0,4$; $N = 0,05 * 1.350 = 70$ potentiële doden

$P_{langzame\ evacuatie} = 0,3$; $N = 0,30 * 1.350 = 405$ potentiële doden

Kosten van de maatregel

De kosten van één dwarsverbinding zijn geschat op ongeveer 3,5 miljoen gulden. Het geboorde tunnelgedeelte heeft een lengte van 6,7 kilometer. Een dwarsverbinding om de 500 meter betekent een totaal van 14 dwarsverbindingen. De totale kosten bedragen $14 * 3,5 \approx 49$ miljoen gulden.

Aanname 88: Het construeren van dwarsverbindingen om de 500 meter in de boortunnel onder het Groene Hart kost in totaal 49 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van dwarsverbindingen om de 500 meter

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 0,3 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 32 slachtoffers per jaar.

5.3.4 Maatregel 3.D: Dwarsverbindingen om de 250 meter

Voor dwarsverbindingen om de 250 meter geldt hetzelfde als bij dwarsverbindingen om de 750 meter of om de 500 meter.

Effect in het referentie-ontwerp

De berekening is vergelijkbaar met de berekening in het referentie-ontwerp of in bij de andere afmetingen tussen de dwarsverbindingen.

Snelle evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 720 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 360 meter minder ver, op 360 meter van de trein ($V = 2$ m/sec).

Aanname 89: Bij een snel evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 250 meter zal zo goed als geen enkele reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Gemiddelde evacuatie:

- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 495 meter minder ver, op 45 meter van de trein ($V = 1,5$ m/sec).
 - Na 11 minuten zijn de eerste reizigers 790 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 295 meter van de trein vandaan (afstand van 250 meter afgelegd in 3 minuten, $V_{\text{gem}} = 1,375$ m/sec).
- Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 90: Bij een gemiddeld evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 250 meter zal 2,5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Langzame evacuatie:

- Na 9 minuten zijn de eerste reizigers 420 meter van de trein verwijderd en is de laatste reiziger uitgestapt.
 - Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 750 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 330 meter van de trein vandaan (afstand van 330 meter afgelegd in 11 minuten, $V_{\text{gem}} = 0,5$ m/sec).
- Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 91: Bij een langzaam evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 250 meter zal 10 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Conclusie:

$P_{\text{snelle evacuatie}} = 0,3$; $N = 0,001 * 1.350 = 2$ potentiële doden

$P_{\text{gemiddelde evacuatie}} = 0,4$; $N = 0,025 * 1.350 = 35$ potentiële doden

$P_{\text{langzame evacuatie}} = 0,3$; $N = 0,10 * 1.350 = 135$ potentiële doden

Kosten van de maatregel

De kosten van één dwarsverbinding zijn geschat op ongeveer 3,5 miljoen gulden. Het geboorde tunnelgedeelte heeft een lengte van 6,7 kilometer. Een dwarsverbinding om de 250 meter betekent een totaal van 27 dwarsverbindingen. De totale kosten bedragen $27 * 3,5 \approx 94,5$ miljoen gulden.

Aanname 92: Het construeren van dwarsverbindingen om de 250 meter in de boortunnel onder het Groene Hart kost in totaal 94,5 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van dwarsverbindingen om de 250 meter

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 0,1 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 7,9 slachtoffers per jaar.

5.3.5 Maatregel 3.E: Schachten naar maaiveld.

Ter ondersteuning van de evacuatie-procedure en ter ondersteuning van de hulpverlening kunnen schachten geconstrueerd worden van de tunnel naar het maaiveld. Deze schachten bevatten een trapenhuis, een hijsgat, een lift en beperkte opslagruimte voor middelen ten behoeve van brandbestrijding en hulpverlening. Deze schachten worden bijvoorbeeld om de 2.000 meter aangelegd.

Effect in het referentie-ontwerp

Het gebruik van deze schachten kan effectief zijn voor de hulpverlenende diensten. Als de brandweer tijdig over de juiste informatie beschikt over de plaats van de brandende trein in de tunnel, kan zij meteen effectief gebruik maken van de schachten. Als de brandweer binnen 30 minuten op de juiste plaats aanwezig is kunnen de brandweerlieden binnen 5 minuten klaar zijn om de tunnel in te gaan. Met 20 minuten perslucht kan één brandweerman bij een snelle hulpverlening nog circa 8 reizigers uit de gevarezone verwijderen. Bij een langzame hulpverlening kan één brandweerman nog circa 3 reizigers redden. De 10 brandweerlieden kunnen bij een snelle hulpverlening 80 reizigers uit de gevarezone verwijderen en bij een langzame hulpverlening 30 reizigers. Deze waarden zijn tot stand gekomen door een zo goed mogelijke schatting te maken.

Aanname 93: Bij een snelle hulpverlening kunnen 80 reizigers uit de gevarezone verwijderd worden door het gebruik van vluchtschachten en bij een langzame hulpverlening circa 30 reizigers.

Kosten van de maatregel

De kosten van een schacht naar het maaiveld vanuit de boortunnel zijn door het boortunnelteam van de HSL-Zuid geraamd op 5,75 miljoen gulden per stuk. Het aanleggen van drie schachten, om de 2.000 meter, kost dan circa 17,25 miljoen gulden.

Aanname 94: De constructiekosten van de drie schachten naar maaiveld bedragen 17,25 miljoen.

Effect op de risiconiveaus van schachten naar maaiveld

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico blijft gelijk op 3,2 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 179,9 slachtoffers per jaar.

5.3.6 Maatregel 3.F: Verlichting en markering van het vluchtkanaal

Een goede ergonomische indeling van de vluchtkanalen door het aanbrengen van een verlichting en het markeren van de vluchtroute kan een snelle evacuatie stimuleren. Het vluchtkanaal moet dusdanig zijn ingericht dat voor alle betrokken reizigers duidelijk is waar de veilige ruimte zich bevindt en hoe die te bereiken is. Duidelijke en eenduidige informatie verkleint de kans op panieksituaties en vergroot de kans op een snelle evacuatie.

Effect in het referentie-ontwerp

Het effect in het referentie-ontwerp is geschat door de kansverdeling in het type evacuatie aan te passen. In het referentie-ontwerp is de kans op een snelle evacuatie 30 %, de kans op een gemiddelde evacuatie is 40 % en de kans op een langzame evacuatie is 30 %. Een ergonomische indeling van de vluchtroute vergroot de kans op een snelle evacuatie. De kansverdeling wordt aangepast naar een kans op een snelle evacuatie van 40 %, een kans op een gemiddelde evacuatie van 40 % en een kans op een langzame evacuatie van 20 %.

Aanname 95: Door het toepassen van vluchtwegverlichting en vluchtwegaanduiding wordt de kans op een snelle evacuatie 40 %, de kans op een gemiddelde evacuatie 40 % en de kans op een langzame evacuatie 20 %.

Kosten van de maatregel

Verlichting van de vluchtwegen kost circa 150 gulden/strekkende meter in één enkele buis en vluchtwegaanduiding kost circa 40 gulden/strekkende meter. Deze kosten zijn geraamd door een expert in tunnelinstallaties van Holland Railconsult. [Heesterbeek, december 1995]

De kosten van een vluchtwegverlichting en vluchtwegmarkering kunnen met bovenstaande kentallen berekend worden. De tunnel heeft een lengte van 6,7 kilometer. De kosten worden als volgt berekend:
 $2 * 6.700 \text{ meter} * (150 + 40) \approx 2,5 \text{ miljoen gulden}$

Aanname 96: De kosten van vluchtwegverlichting en vluchtwegmarkering bedragen 2,5 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van verlichting en markering van het vluchtkanaal

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 3,1 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 178,7 slachtoffers per jaar.

5.3.7 Maatregel 3.G: Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties

Een publieksvoorlichting over het gebruik van de tunnel kan in geval van een calamiteit het gedrag van de reizigers beïnvloeden. In de risico-analyse van het referentie-ontwerp is berekend dat de kans op een brandende trein in de tunnel circa 35 % is op een levensduur van 100 jaar voor de HSL-Zuid. Dit is de berekende kans op basis van het referentie-ontwerp zonder aanvullende veiligheidsmaatregelen, waardoor waarschijnlijk de uiteindelijke kans lager zal zijn.

De voorlichting van het publiek moet op grote schaal plaats vinden om alle toekomstige reizigers te bereiken en bekend te maken met eventuele calamiteiten. Een groot neveneffect van een uitgebreide publieksvoorlichting is dat het publiek continue geconfronteerd wordt met de zeer kleine kans op een mogelijke calamiteit als een brandende trein in de tunnel. De voorlichting heeft waarschijnlijk als neveneffect dat de gebruikers het systeem als minder veilig gaan beoordelen.

Een uitgebreide publieksvoorlichting zal niet eenmalig plaats vinden maar zal vaak herhaald moeten worden, wat zeer hoge kosten met zich mee zal brengen. Op basis van deze overwegingen is besloten het effect niet te kwantificeren en deze veiligheidsmaatregel niet nader te kwantificeren.

5.4 Veiligheidsmaatregelen schakel 4: Repressie

In deze paragraaf wordt de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de vierde schakel van de veiligheidsketen gekwantificeerd. Deze maatregelen concentreren zich sterk op het uiteindelijke rendement van de hulpverlening. Opgemerkt dient te worden dat de hulpverlenende diensten een dubbele functie vervullen in het hulpverleningsproces. Hulpverleners proberen zoveel mogelijk reizigers zo snel mogelijk in veiligheid te brengen, maar zorgen daarnaast ook voor de begeleiding en verzorging van de reizigers die uit de gevarezone zijn. Deze tweede functie is zeer belangrijk in de totale nazorg van de calamiteit maar wordt niet direct tot uitdrukking gebracht in de reductie van het aantal slachtoffers.

5.4.1 Maatregel 4.A: Vergroten brandweercapaciteit in de regio

Het vergroten van de structurele brandweercapaciteit maakt het mogelijk om een groter aantal hulpverleners snel bij de tunnel aanwezig te hebben.

Effect in het referentie-ontwerp

Het vergroten van de capaciteit van 2 brandweerauto's naar bijvoorbeeld 4 brandweerauto's maakt het mogelijk om voor de brandweer een groter aantal reizigers te kunnen redden. Geschat is dat het rendement van iedere individuele brandweer gelijk blijft en dat de verschillende brandweertieners elkaar niet belemmeren bij de reddingswerkzaamheden maar eerder effectiever samenwerken. Het effect van de hulpverleners wordt op dezelfde manier als in het referentie-ontwerp berekend. Bij een snelle hulpverlening neemt het aantal geredde reizigers toe van 60 naar 120 en bij een langzame hulpverlening neemt het aantal geredde reizigers toe van 10 naar 20. De kansverdeling van een snelle of een langzame hulpverlening blijft gelijk aan de schatting in het referentie-ontwerp.

$$P_{\text{snelle hulpverlening}} = 0,8 ; N_{\text{aantal geredde reizigers}} = 120$$

$$P_{\text{langzame hulpverlening}} = 0,2 ; N_{\text{aantal geredde reizigers}} = 20$$

Aanname 97: Bij een verdubbeling van de capaciteit van de brandweer neemt het aantal geredde reizigers bij een snelle hulpverlening toe van 60 naar 120 en bij een langzame hulpverlening neemt het aantal geredde reizigers toe van 10 naar 20.

Kosten van de maatregel

Het structureel vergroten van de capaciteit van de brandweer vraagt een grote investering in huisvesting, materieel, personeelskosten en training van personeel. Geschat wordt dat het vergroten van de capaciteit ongeveer 500.000 gulden per brandweerman per jaar kost. Voor een vergroting van de capaciteit met 12 brandweertieners kost dit per jaar: $12 * 500.000 = 6$ miljoen gulden.

De Netto Contante Waarde is $6 \text{ miljoen gulden} * 10 = 60$ miljoen gulden.

Aanname 98: Een grove schatting van de Netto Contante Waarde van de kosten van een capaciteitsvergroting van 2 brandweerauto's in de regio is 60 miljoen gulden.

Effect op de risiconiveaus van vergroten brandweercapaciteit

Indien bovenstaande gegevens verwerkt worden in figuur 4.11 is het resultaat als volgt:

Het persoonlijk risico daalt van 3,2 naar 3,1 slachtoffers per jaar.

De karakteristieke waarde daalt van 183,2 naar 175,1 slachtoffers per jaar.

5.4.2 Maatregel 4.B: Training van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel

Een jaarlijkse training van het brandweerpersoneel in de boortunnel maakt de bekendheid met de specifieke omstandigheden groter, waardoor de effectiviteit van de hulpverlening zal toenemen. De brandweer van Rotterdam geeft echter aan dat voor de Willemspoortunnel een adequate training van alle mogelijk betrokken brandweermensen zo goed als onmogelijk is (zie bijlage D.0, deelrapport III). Een adequate training is onmogelijk omdat de omvang van het personeelsbestand erg groot is en omdat de tunnel bijna nooit buiten gebruik genomen kan worden voor een intensieve training. De tunnel is continue in gebruik. De kosten voor bijvoorbeeld een jaarlijkse training van alle hulpverleners die bij een mogelijke calamiteit opgeroepen worden is op basis van bovenstaande overwegingen praktisch moeilijk uitvoerbaar en brengt hoge kosten met zich mee. Het buiten gebruik nemen van de tunnel vormt een hoge kostenpost.

5.5 Veiligheidsmaatregelen schakel 5: Nazorg

In deze paragraaf wordt de invloed van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de vijfde schakel van de veiligheidsketen gekwantificeerd. Deze maatregelen concentreren zich sterk op de nazorg van de hulpverlening. Met nazorg wordt al hetgene bedoeld wat noodzakelijk is om zo snel mogelijk weer terug te keren naar de normale situatie.

5.5.1 Maatregel 5.A: Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden

Een van de mogelijke maatregelen om de terugkeer naar de normale situatie te bespoedigen is het gebruik van andere treinen om de gevluchte reizigers zo snel mogelijk te verwijderen uit de andere tunnelbuis. Het rendement van deze maatregel is moeilijk uit te drukken in een reductie van het aantal slachtoffers in het referentie-ontwerp. In de werkelijkheid kan een snelle verwijdering van de reizigers uit de tunnel de kans op trauma's en blijvend letsel verkleinen. Het toepassen van deze maatregelen vraagt geen speciale voorzieningen maar slechts een toevoeging in het rampenbestrijdingsplan en een adequate training van de verkeersleiding. Het gebruik van treinen om de evacuatie te bespoedigen lijkt dan ook zeker rendabel.

6 Integrale veiligheid tunnel Groene Hart

In dit hoofdstuk wordt het resultaat van de kwantificering van de verschillende veiligheidsmaatregelen weergegeven. De effectiviteit van de verschillende maatregelen wordt beoordeeld en een uitspraak wordt gedaan over een mogelijke keuze van de veiligheidsmaatregelen. De geformuleerde veiligheidseisen voor de boortunnel onder het Groene Hart vormen de basis waarop de keuze plaatsvindt. Het resultaat wordt weergegeven in de uitgewerkte matrix, zoals die is gepresenteerd in figuur 2.1.

6.1 Resultaat

In hoofdstuk 2 is een aantal veiligheidsmaatregelen geselecteerd, waarvan in hoofdstuk 5 het effect op de risiconiveaus en de kosten is berekend. Het effect en de kosten van de maatregelen is berekend met behulp van een groot aantal aannamen. Deze aannamen zijn tot stand gekomen op basis van achterliggende literatuur, informatie van betrokken experts en anders simpelweg door een zo goed mogelijke inschatting.

In hoofdstuk 3 is het referentie-ontwerp beschreven wat in hoofdstuk 4 is gekwantificeerd. Bij de kwantificering van het referentie-ontwerp is slechts één calamiteit uitgewerkt, namelijk een grote brand in de trein. Als maatgevende trein is vooralsnog een shuttle aangehouden met een 100 % bezetting, zodat in totaal 1.350 reizigers in de trein aanwezig zijn.

Het resultaat van de kwantificering van het referentie-ontwerp wordt gegeven in paragraaf 4.6, figuur 4.11. Het persoonlijk risico voor de reizigers is 3,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. De Karakteristieke Waarde voor de reizigers is 183,2 slachtoffers per jaar voor een brandende trein in de tunnel. Deze waarden zijn niet te vergelijken met de normering van de risiconiveaus voor de HSL-Zuid. Deze waarden gelden voor slechts één calamiteit, een brand in de trein, en zijn bovendien berekend aan de hand van een model dat zeer grof is opgebouwd.

Het resultaat van de kwantificering van de veiligheidsmaatregelen in hoofdstuk 5 is in onderstaande figuur samengevat.

Schakel veiligheidsketen	Veiligheidsmaatregel	Gereduceerd Persoonlijk Risico in referentie-ontwerp	Gereduceerde Karakteristieke Waarde in referentie-ontwerp	Netto Constante Waarde van de maatregel (miljoen gulden)	Investering per gered slachtoffer (levensduur 100 jaar)
Pro-actie	Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting	2,7	168,9	95	1,9
	Gebruik van brandwerend materiaal in de trein	0,4	62,4	30	0,11
	Intensieve training personeel over handelen bij brand	2,9	174,8	7	0,25
Preventie	Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers	-	-	Zeer hoog	-
	Automatische branddetectie	3,0	177,9	15	0,75

	<i>in technische ruimtes</i>				
	Ventilatie	3,1	177,9	7	0,70
	Dwarsverbindingen om de 750 meter	1,2	91,2	19	0,10
	Dwarsverbindingen om de 500 meter	0,3	32	30	0,10
	Dwarsverbindingen om de 250 meter	0,1	7,9	58	0,20
	Schachten naar maaiveld om de 2.000 meter	3,2	179,9	17	∞
	Verlichting en markering vluchtkanaal	3,1	178,7	2,5	0,25
	Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties	-	-	zeer hoog	-
Repressie	Vergroten brandweercapaciteit in de regio	3,1	175,1	60	6
	Training van hulpverlenende diensten in specifieke tunnel	-	-	zeer hoog	-
Nazorg	Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden	-	-	minimaal	-

Figuur 6.1: *Samenvatting resultaat kwantificering veiligheidsmaatregelen*

6.2 Interpretatie veiligheidsmaatregelen

In paragraaf 6.3 van deelrapport I is een multidisciplinaire benadering van veiligheid voorgesteld, waarin de derde stap zeer essentieel is. Deze derde stap bevat een interpretatie van de gekwantificeerde veiligheidsmaatregelen en een toetsing aan de verschillende veiligheidseisen. De veiligheidseisen voor de boortunnel onder het Groene Hart zijn uitgewerkt in paragraaf 2.4 van dit deelrapport.

De veiligheidseisen voor de boortunnel onder het Groene Hart bevatten twee topeisen in de vorm van twee risiconiveaus, het Persoonlijk Risico en de Karakteristieke Waarde. Daaronder is in een drietal belangengroepen een groot aantal veiligheidseisen geformuleerd. Veiligheidseisen met een economische achtergrond, veiligheidseisen ten aanzien van perceptie van de betrokkenen en eisen van hulpverlenende diensten.

Het effect van de verschillende veiligheidsmaatregelen op de gestelde veiligheidseisen voor de boortunnel onder het Groene Hart wordt als volgt kwalitatief geïnterpreteerd:

Maatregel 1.A: Toezicht in de trein tegen mogelijke brandstichting

Een extra treintoezichthouder om brandstichting in de trein te voorkomen, vraagt een relatief hoge investering per gered slachtoffer. Daarnaast is de kans van optreden van een brand in de trein dusdanig laag dat het gemotiveerd houden van het personeel moeilijk zal zijn. De effectiviteit van de maatregel neemt sterk af als de alertheid van het personeel daalt. Deze veiligheidsmaatregel lijkt dan ook niet zinvol.

Maatregel 1.B: Gebruik van brandwerende materiaal in de trein

Het gebruik van brandwerende materiaal in de trein heeft een verhouding van investering tot gered slachtoffer van 0,11 miljoen gulden. Deze verhouding is niet erg hoog en bovendien heeft deze maatregel niet alleen invloed op dit specifieke gedeelte van het tracé maar op het gehele systeem. Daarnaast geldt voor de perceptie van de gebruikers in sterke mate het principe dat voorkomen beter is dan genezen. Deze maatregel wordt dan ook zeker aanbevolen.

Maatregel 1.C: Intensieve training van personeel over handelen bij brand

Een jaarlijkse intensieve training van het treinpersoneel over hoe om te gaan met een mogelijke brand is redelijke effectief. De verhouding heeft een waarde van 0,25 miljoen gulden. Een jaarlijkse training van personeel kan ook zeker bijdragen aan het veiligheidsgevoel van de gebruiker. Deze maatregel wordt dan ook aanbevolen.

Maatregel 2.A: Zuurstofmaskers in de trein voor de reizigers

Het gebruik van zuurstofmaskers in de trein is zeer gevoelig voor storingen en vandalisme en vereist een training van de gebruikers waardoor de betrouwbaarheid niet zeer hoog zal zijn. Deze maatregel wordt dan ook niet aanbevolen.

Maatregel 2.B: Automatische branddetectie in technische ruimtes

Het toepassen van automatische branddetectie in de technische ruimtes van de trein is redelijk effectief in de verhouding investering tot gered slachtoffer. Deze maatregel heeft echter geen grote beperkende gevolgen in de omvang van een mogelijke calamiteit. De Karakteristieke Waarde blijft hoog waardoor deze maatregel niet zonder meer toegepast moet worden.

Maatregel 3.A: Ventilatie

De bijdrage van een ventilatiesysteem aan de totale effectiviteit van de evacuatie van de reizigers is van een aantal factoren afhankelijk. Iedere brand kent een eigen verloop, waarop de ventilatiestrategie aangepast moet anticiperen. De betrouwbaarheid van een ventilatiesysteem voor het vergroten van de mogelijkheden voor zelfredzaamheid van de reizigers is niet zeer groot. Een ventilatiesysteem kan daarentegen een belangrijke bijdrage leveren in de hulpverlening. Indien het ventilatiesysteem de rook in één richting blaast, is de trein vanaf de andere zijde voor hulpverleners te bereiken. Een ventilatiesysteem omvat een aantal mogelijkheden waardoor het effect en de betrouwbaarheid van deze maatregel diepgaander gemodelleerd dient te worden. Op basis van dit model kan deze maatregel niet zonder meer wel of niet aanbevolen worden.

Maatregel 3.B & 3.C 3.D: Dwarsverbindingen om de 750, 500 of 250 meter

Het toepassen van dwarsverbindingen levert een belangrijke bijdrage in de mate van zelfredzaamheid van de reizigers. Het toepassen van dwarsverbindingen om de 250 meter levert een grote reductie in het Persoonlijk Risico en de Karakteristieke Waarde. Dwarsverbindingen om de 500 meter tonen echter ook een acceptabele Karakteristieke Waarde. Aanbevolen wordt om in ieder geval dwarsverbindingen om de 500 meter aan te brengen op basis van maximale zelfredzaamheid.

Maatregel 3.E: Schachten naar maaiveld

Het effect op de veiligheidsniveaus van schachten naar maaiveld is in dit model minimaal. Desondanks kan een toepassing van schachten bijdragen aan de veiligheidswaardering door de gebruikers. De schachten zullen bijdragen om de reizigers sneller vanuit de relatief veilige tunnelbuis naar het maaiveld te geleiden. Daarnaast kan de effectiviteit van schachten naar maaiveld vergroot worden door een combinatie

met en ventilatiesysteem. De London tunnel van de Channel Tunnel Rail Link (deelrapport III, bijlage H) bevat schachten naar maaiveld om de 3.000 meter met een ventilatiesysteem dat de rook uit de incident-tunnelbuis wegzuigt en schone lucht blaast in de vrije tunnelbuis.

Het gebruik van schachten naar maaiveld is een maatregel die in de probabilistische analyse weinig effect heeft, maar desondanks van grote invloed kan zijn op de perceptie van de gebruiker of in combinatie met een ventilatiestrategie. Deze maatregel wordt dan ook niet zonder meer wel of niet aanbevolen.

Maatregel 3.F: Verlichting en markering van het vluchtkanaal

Het toepassen van verlichting en een ergonomische markering van het vluchtkanaal heeft een verhouding van 0,25 miljoen per gered mensenleven in deze kwantificeringsmethode. Het toepassen van deze maatregel is effectief in de risiconiveaus en draagt bovendien sterk bij in het vergroten van de zelfredzaamheid. Deze maatregel wordt zeker aanbevolen.

Maatregel 3.G: Publieksvoorlichting over handelen in noodsituaties

Het continu voorlichten van publiek over hoe te handelen in noodsituaties vraagt grote investeringen om grote groepen potentiële gebruikers van het systeem te bereiken. Deze maatregel legt tevens een grote nadruk op mogelijke calamiteiten waardoor de veiligheid van het systeem afneemt in de ogen van de gebruikers. Deze maatregel wordt dan ook niet aanbevolen.

Maatregel 4.A: Vergroten brandweercapaciteit in de regio

Het vergroten van de brandweercapaciteit heeft een zeer hoge verhouding van 6 miljoen per gered mensenleven. De effectiviteit van deze maatregel maakt dat wordt aanbevolen om deze maatregel niet toe te passen.

Maatregel 4.B: Training van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel

De kosten van een training van hulpverlenend personeel in de specifieke tunnel zijn waarschijnlijk zeer hoog. Niet alleen de eigenlijke training maar ook het stilleggen van treinverkeer in de tunnel brengt kosten met zich mee. Desondanks is zeer aan te bevelen om de hulpverlenende diensten zo goed mogelijk te trainen en eens in de zoveel tijd een calamiteitenoefening te organiseren met een kleine groep hulpverleners. De evaluatie van deze oefening kan vervolgens gebruikt worden om de overige hulpverleners voor te lichten. Deze maatregel wordt ondanks de hoge kosten aanbevolen uit oogpunt van perceptie van de gebruikers. Voor de hulpverlenende diensten is van groot belang om te weten wat verwacht wordt onder welke omstandigheden en hoe aan die verwachtingen voldaan kan worden.

Maatregel 5.A: Gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden

De kosten van het gebruik van andere treinen om reizigers te evacueren uit de vrije tunnelbuis zijn minimaal. Deze maatregel dient opgenomen te worden in een calamiteitenplan wat goed bekend moet zijn bij de verkeersleiding van het systeem. Het toepassen van deze maatregel wordt aanbevolen.

Het resultaat van de interpretaties van de effectiviteit van de veiligheidsmaatregelen wordt weergegeven in onderstaande tabel. De veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie groepen (paragraaf 2.3):

- Groep A: Veiligheidsmaatregelen die in het ontwerp aanbevolen worden.
- Groep B: Veiligheidsmaatregelen die eventueel in het ontwerp opgenomen kunnen worden.
- Groep C: Veiligheidsmaatregelen die niet aanbevolen worden door het te lage rendement en de te lage betrouwbaarheid.

	Pro-actie	Preventie	Preparatie	Repressie	Nazorg
A	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwerend materiaal • Training personeel 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 500 m • Verlichting & markering vluchtroute 	<ul style="list-style-type: none"> • Training hulpverleners in tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuatie met trein
B	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Branddetectie • technische ruimtes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilatie • Schachten naar maaiveld • Dwarsverbindingen om 750 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> •
C	<ul style="list-style-type: none"> • Toezicht in de trein 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuurstofmaskers 	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsverbindingen om 250 m • Publieksvoorlichting noodsituaties 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergroten brandweercapaciteit 	<ul style="list-style-type: none"> •

Figuur 6.2: Ingevulde matrix voor modellering integrale veiligheid boortunnel Groene Hart

6.3 Aanvullen overige calamiteiten

Het referentie-ontwerp met de aanvullende veiligheidsmaatregelen is getoetst aan het maatgevende incident van een brand in de trein. Overige calamiteiten als botsing, ontsporing of aanrijding zijn niet getoetst. De beperking van de beschikbare evacuatie-tijd bij een brandende trein in de tunnel blijkt een maatgevend criterium bij de berekening van de capaciteit van de vluchtroutes. Desondanks is een analyse van het ontwerp voor de overige potentiële calamiteiten essentieel.

Een eventueel beschadigde bovenleiding dient bijvoorbeeld spanningsloos te zijn voordat de reizigers de trein uitgaan en de bovenleiding binnen handbereik hebben. In geval van een botsing of ontsporing is de kans op schade aan de bovenleidingen vrij groot.

De kans op een eventuele ontsporing of aanrijding in de tunnel is kleiner in vergelijking met een open baanvak. Het spoor in de tunnel is minder goed toegankelijk waardoor de kans op objecten in de baan afneemt. De gevolgen van een ontsporing zijn naar verwachting kleiner in de tunnel dan buiten de tunnel. Een ontsporing naar het nevenspoor is in de tunnel niet mogelijk.

Voor botsing geldt dat de Automatische Trein Beïnvloeding een verwachte betrouwbaarheid heeft die onafhankelijk is van de plaats van de trein. De gevolgen van een eventuele botsing in de tunnel zijn echter groter doordat de hulpverleners minder makkelijk het incident kunnen bereiken in vergelijking met een open baanvak.

Een combinatie van botsing of ontsporing met een brand in de tunnel heeft een zeer kleine kans van optreden. In een eventuele aanvullende risico-analyse dient gekwantificeerd te worden wat de kans van optreden is en hoe groot de mogelijke gevolgen zijn.

In eerste instantie lijken de calamiteiten botsing, ontsporing en aanrijding in de tunnel geen grote aanvullende eisen te stellen aan het ontwerp van het integraal veilige vervoerssysteem tunnel onder het Groene Hart. De constructie van de bovenleiding en het eventuele uitschakelen van de spanning verdient nog enige aandacht.

6.4 Kwantificering referentie-ontwerp met veiligheidsmaatregelen

In paragraaf 6.3 is het effect van de veiligheidsmaatregelen geïnterpreteerd en is een keuze gemaakt voor een aantal maatregelen die zeker in het referentie-ontwerp moeten worden toegevoegd. Dit zijn het toepassen van brandwerend materiaal, een training van het treinpersoneel, dwarsverbindingen om de 500 meter, verlichting en markering van de vluchtroute, training van de hulpverlenende diensten in de tunnel en het gebruik van andere treinen voor de evacuatie van gevluchte reizigers.

Het effect van deze aanvullende veiligheidsmaatregelen in het referentie-ontwerp is berekend. Het resultaat wordt weergegeven in figuur 6.3.

Scenario	Kans op brand in de trein (per treinkilometer)	Detectie (vroeg of laat)	Kans op mislukte blusactie	Fictieve kilometers tunnel	Evacuatie (snelle, gem. of langzame evacuatie)	Aantal dodelijke slachtoffers	Hulpverlening (snelle of langzame hulpverlening)	Reductie slachtoffers door hulpverlening	Kans van optreden van het scenario (P)	Totale gevolg (aantal dodelijke slachtoffers; N)	P*N	P*N*N
1	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	35	0,8	-60	1,112E-05	0	0,0000	0,0000
2	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	70	0,2	-10	2,779E-06	60	0,0002	0,0100
3	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	405	0,8	-60	5,559E-06	345	0,0019	0,6617
4	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	35	0,2	-10	2,779E-06	25	0,0001	0,0017
5	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	70	0,8	-60	1,112E-05	10	0,0001	0,0011
6	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	405	0,2	-10	1,390E-06	395	0,0005	0,2168
7	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	35	0,8	-60	2,030E-05	0	0,0000	0,0000
8	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	70	0,2	-10	5,076E-06	60	0,0003	0,0183
9	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	405	0,8	-60	1,015E-05	345	0,0035	1,2083
10	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	35	0,2	-10	5,076E-06	25	0,0001	0,0032
11	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	70	0,8	-60	2,030E-05	10	0,0002	0,0020
12	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	405	0,2	-10	2,538E-06	395	0,0010	0,3960
13	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	35	0,8	-60	1,838E-05	0	0,0000	0,0000
14	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	70	0,2	-10	4,596E-06	60	0,0003	0,0165
15	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	405	0,8	-60	9,191E-06	345	0,0032	1,0940
16	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	35	0,2	-10	4,596E-06	25	0,0001	0,0029
17	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	70	0,8	-60	1,838E-05	10	0,0002	0,0018
18	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	405	0,2	-10	2,298E-06	395	0,0009	0,3585
19	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	35	0,8	-60	4,294E-05	0	0,0000	0,0000
20	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	70	0,2	-10	1,073E-05	60	0,0006	0,0386
21	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	405	0,8	-60	2,147E-05	345	0,0074	2,5553
22	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	35	0,2	-10	1,073E-05	25	0,0003	0,0067
23	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	70	0,8	-60	4,294E-05	10	0,0004	0,0043
24	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	405	0,2	-10	5,367E-06	395	0,0021	0,8374
									gemiddelde			0,023
									standaardafwijking			2,7
									Karakteristieke Waarde			8,2

Figuur 6.3: Berekening risico's gebeurtenissenbomen referentie-ontwerp en aanvullende veiligheidsmaatregelen

6.5 Toetsing kwantificering

Ter onderbouwing van de kwantificering van het referentie-ontwerp en de veiligheidsmaatregelen is in deze paragraaf de gevoeligheid van het model voor de verschillende aannamen geanalyseerd. Op basis van deze analyse is een tweetal aanvullende varianten gekwantificeerd.

In de vorige paragraaf zijn de risiconiveaus voor het referentie-ontwerp met de aanvullende maatregelen berekend. Als aanvullende informatie zijn ook de risiconiveaus berekend voor een vergelijkbare variant met dwarsverbindingen om de 750 meter, in plaats van om de 500 meter.

In het referentie-ontwerp wordt uitgegaan van een shuttle met 1.350 reizigers. Dit is een treinbezetting die niet veel zal voorkomen. Het type treinen en de bijbehorende treinbezetting is geanalyseerd en voor een trein met een meer gemiddelde bezetting zijn tevens de risiconiveaus berekend.

1. Invloed aannamen op risiconiveaus

Voor de kwantificering van het referentie-ontwerp en het effect van de veiligheidsmaatregelen zijn in totaal 98 aannamen expliciet gedefinieerd. De mate van invloed van de aannamen op het uiteindelijke resultaat is zeer verschillend. In deze paragraaf wordt kort kwalitatief aangegeven welke aannamen van grote invloed zijn op het uiteindelijke resultaat. De verschillende aannamen zijn geclusterd naar de verschillende essentiële gebeurtenissen.

Cluster A: Startgegevens:

- Brandvermogen (aannamen 1)
- Trein (aannamen 2 en 23)
- Brandkans (aannamen 3)

Cluster B: Modelering gedwongen stop (aannamen 4 -10)

Cluster C: Modelering detectie (aannamen 11 en 12)

Cluster D: Modelering blussen (aannamen 13 -16)

Cluster E: Modelering go/no go beslissing

- Informatie-overdracht (aannamen 17 - 20)
- Verdeling treinsnelheid (aannamen 21 en 22)

Cluster F: Modelering evacuatie

- Plaats van de trein in de tunnel (aannamen 24, 25 en 26)
- Reactie van de reizigers (aannamen 27, 30, 34, 36 - 39, 41 - 44)
- Ontwikkeling van de brand (aannamen 28, 29, 32, 33, 35)
- Vluchtmogelijkheden (aannamen 31 en 41)

Cluster G: Hulpverlening

- Omstandigheden in de tunnel (aannamen 45)
- Effectiviteit brandweer (aannamen 46 - 53)

Van bovenstaande clusters zijn met name de clusters A en F doorslaggevend in de uiteindelijke kwantificering van de risiconiveaus. Voor de kwantificering van de veiligheidsmaatregelen geldt ook dat aannamen in deze twee clusters grote invloed hebben op het uiteindelijke resultaat. Dit komt overeen met de conclusie dat verbeteringen in de eerste schakels van het systeem een hoog rendement leveren. In de gevolgenbeheersing is zelfredzaamheid de belangrijkste sturende parameter en in cluster F wordt met name de zelfredzaamheid gemodeleerd.

2. Dwarsverbindingen om de 750 meter:

In aanvulling op de kwantificering van het referentie-ontwerp met de aanvullende maatregelen zijn ook de risiconiveaus berekend voor hetzelfde ontwerp met dwarsverbindingen om de 750 meter in plaats van

om de 500 meter. Het resultaat is een persoonlijk risico van 0,09 en een Karakteristieke Waarde van 24 slachtoffers per jaar (zie figuur 6.4).

Scenario	Kans op brand in de trein (per treinkilometer)	Detectie (vroeg of laat)	Kans op mislukte blusactie	Fictieve kilometers tunnel	Evacuatie (snelle, gem. of langzame evacuatie)	Aantal dodelijke slachtoffers	Hulpverlening (snelle of langzame hulpverlening)	Reductie slachtoffers door hulpverlening	Kans van optreden van het scenario (P)	Totale gevolg (aantal dodelijke slachtoffers; N)	P*N	P*N*N
1	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	70	0,8	-60	1,112E-05	0	0,0000	0,0000
2	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	340	0,2	-10	2,779E-06	330	0,0009	0,3027
3	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	1010	0,8	-60	5,559E-06	950	0,0053	5,0170
4	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	70	0,2	-10	2,779E-06	60	0,0002	0,0100
5	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	340	0,8	-60	1,112E-05	280	0,0031	0,8716
6	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	1010	0,2	-10	1,390E-06	1000	0,0014	1,3897
7	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	70	0,8	-60	2,030E-05	0	0,0000	0,0000
8	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	340	0,2	-10	5,076E-06	330	0,0017	0,5527
9	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	1010	0,8	-60	1,015E-05	950	0,0096	9,1617
10	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	70	0,2	-10	5,076E-06	60	0,0003	0,0183
11	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	340	0,8	-60	2,030E-05	280	0,0057	1,5917
12	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	1010	0,2	-10	2,538E-06	1000	0,0025	2,5379
13	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	70	0,8	-60	1,838E-05	0	0,0000	0,0000
14	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	340	0,2	-10	4,596E-06	330	0,0015	0,5005
15	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	1010	0,8	-60	9,191E-06	950	0,0087	8,2950
16	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	70	0,2	-10	4,596E-06	60	0,0003	0,0165
17	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	340	0,8	-60	1,838E-05	280	0,0051	1,4412
18	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	1010	0,2	-10	2,298E-06	1000	0,0023	2,2978
19	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	70	0,8	-60	4,294E-05	0	0,0000	0,0000
20	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	340	0,2	-10	1,073E-05	330	0,0035	1,1690
21	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	1010	0,8	-60	2,147E-05	950	0,0204	19,3755
22	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	70	0,2	-10	1,073E-05	60	0,0006	0,0386
23	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	340	0,8	-60	4,294E-05	280	0,0120	3,3663
24	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	1010	0,2	-10	5,367E-06	1000	0,0054	5,3672
									gemiddelde			0,09
									standaardafwijking			8,0
									Karakteristieke Waarde			24,0

Figuur 6.4: Berekening risiconiveaus variant dwarsverbindingen om de 750 meter

De figuur laat zien dat combinaties mogelijk zijn waar grote hoeveelheden slachtoffers vallen. De uiteindelijke Karakteristieke Waarde nadert de geaccepteerde grens, maar op basis van zelfredzaamheid is dit alternatief niet aan te bevelen.

3. Analyse treinbezetting

In de kwantificering van het referentie-ontwerp en de aanvullende maatregelen is uitgegaan van een maatgevende shuttle met 1.350 reizigers. Dit is een shuttle met een 100 % bezetting die alleen in de spitsuren zal voorkomen.

Voor het traject van Rotterdam-CS naar Amsterdam wordt uitgegaan van 172 treinen per dag, waarvan 100 HST treinstellen en 72 shuttlecombinaties. Een HST bestaat uit één of twee treinstellen. Een groot gedeelte van de tijd rijden de HST's met enkele stellen en af en toe met dubbele stellen. Voor deze verhouding kan aangehouden worden dat 80 % van de HST's met enkele stellen rijden en 20 % van de HST's met dubbele stellen. De bezetting van de treinen verschilt over de spitsuren, de daluren en normale uren. Voor een gemiddelde bezetting kan bijvoorbeeld 67 % van de zitplaatsen aangehouden worden.

Aanname 99: 80 % van de HST's rijdt met enkele treinstellen en 20 % van de HST's rijdt met dubbele treinstellen en de gemiddelde bezetting van een trein is circa 67 % van de zitplaatsen.

Een vergelijkbare aanname kan ook voor de shuttles geformuleerd worden. De shuttles rijden alleen in de spits met alle 12 bakken. In de daluren wordt bijvoorbeeld met 4 bakken gereden en in de normale uren met 8 bakken. De verhouding tussen de verschillende typen uren kan geschat worden op 20 % daluren, 60 % normale uren en 20 % spitsuren.

Aanname 100: 20 % van de shuttles rijdt met 4 bakken, 60 % van de shuttles rijdt met 8 bakken en 20 % van de shuttles rijdt met 12 bakken.

Het resultaat is weergegeven in onderstaande figuur met het aantal reizigers per trein per dag bij een gemiddelde bezetting, een maximale bezetting van de zitplaatsen en een volledige bezetting (incl. staanplaatsen).

Type	Treinen per dag	Maximale treinlengte	67 % bezetting zitplaatsen	100 % bezetting zitplaatsen	Volledige bezetting (incl. eventuele staanplaatsen)
TGV-PBKA	80	2 stellen / 400 m	505	754	754
TGV-PBKA	20	1 stel / 200 m	253	377	377
DD-UIC-GC	14	12 bakken / 322,5 m	905	1.350	2.112
DD-UIC-GC	44	8 bakken / 215 m	600	900	1.408
DD-UIC-GC	14	4 bakken / 107,5 m	300	450	704

Figuur 6.5: Treinbezetting shuttle en HST's

In het referentie-ontwerp is gerekend met een shuttle met een volledige bezetting van de zitplaatsen. Dit is een situatie die op grond van bovenstaande aannames, slechts een aantal keer per dag zal optreden. Deze gehanteerde treinbezetting is dan ook geen gemiddelde bezetting. Voor de volledigheid zijn daarom ook nog de risiconiveaus berekend voor een gemiddelde trein, bijvoorbeeld een HST van 2 stellen met een 67 % bezetting.

4. Kwantificering risiconiveaus HST met 67 % bezetting

Ter vergelijking van de risiconiveaus is een gemiddelde trein, een HST van 2 stellen met 67 % bezetting als maatgevende trein genomen in het referentie-ontwerp. De risiconiveaus zijn berekend voor het referentie-ontwerp met alle aanbevolen aanvullende maatregelen. De maatgevende trein is nu een HST met 505 reizigers.

Aanname 101: De maatgevende trein is een HST van twee stellen met 505 reizigers (67 % bezetting)

Deze kwantificering is vereenvoudigd door de kleine verschillen in de eerste twee essentiële schakels van de hoofdgebeurtenissenboom te verwaarlozen. Het effect van het aantal reizigers op het moment van detectie, een eventuele bluspoging of de go/no go beslissing wordt niet meegenomen. De evacuatiesnelheid van de reizigers uit de trein zijn vermeld in figuur 4.8. Bij een snelle evacuatie uit een TGV stappen 139 reizigers per minuut uit de trein en bij een langzame evacuatie stappen 60 reizigers per minuut uit.

Aanname 102: Bij een gemiddelde evacuatie en bij deze maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 101 personen per minuut aangehouden. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met een snelheid van 1,5 m/sec.

Aanname 103: Bij een snelle evacuatie en bij deze maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 126 personen per minuut aangehouden. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met een snelheid van 2 m/sec.

Aanname 104: Bij een langzame evacuatie en bij deze maatgevende trein wordt een uitstapsnelheid van 56 personen per minuut aangehouden. Op de vluchtpaden lopen de reizigers met een snelheid van 1 m/sec.

De verdeling van de kansverdeling voor het type evacuatie blijft gelijk, eveneens als de berekeningsmethode van de vluchttijd naar de dwarsverbindingen om de 500 meter (zie paragraaf 5.3.3).

Snelle evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- $505 \text{ reizigers} / 126 = 4$ minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 2 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 2 + 4 minuten zijn de eerste reizigers 480 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt.
- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 720 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 480 meter minder ver, op 240 meter van de trein ($V = 2 \text{ m/sec}$).

In het referentie-ontwerp is aangenomen dat na 8 minuten vluchtsnelheid afneemt door de rookontwikkeling. Na 20 minuten is de vluchttijd gereduceerd tot 0 m/sec.

- Na 11 minuten zijn de laatste reizigers 555 meter van de trein vandaan ($V_{\text{gem}} = 1,75 \text{ m/sec}$).

Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers niet op tijd de dwarsverbinding kunnen bereiken en achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 105: Bij een snel evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 2.5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Gemiddelde evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- $505 \text{ reizigers} / 101 = 5$ minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 1,5 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 2 + 5 minuten zijn de eerste reizigers 450 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt.
- Na 8 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 450 meter minder ver, op 90 meter van de trein.

- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 1.080 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 630 meter van de trein vandaan (afstand van 540 meter afgelegd in 12 minuten, $V_{gem} = 0,75$ m/sec). Alle reizigers hebben de dwarsverbinding bereikt en zijn de andere tunnelbuis ingelopen waar geen rook aanwezig is. Waarschijnlijk zal een klein percentage van de reizigers achterblijven in de tunnelbuis met de brandende trein.

Aanname 106: Bij een gemiddeld evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 5 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Langzame evacuatie:

- 2 minuten voor start van de evacuatie van de reizigers.
- $505 \text{ reizigers} / 56 = 9$ minuten voor uitstappen van alle reizigers uit de trein.
- De reizigers hebben op het vluchtpad een loopsnelheid van 1 m/sec en per strekkende meter vluchtpad kunnen 4 reizigers lopen. Na 2 + 9 minuten zijn de eerste reizigers 540 meter van de trein verwijderd en zijn alle reizigers uitgestapt.
- Na 20 minuten zijn de eerste reizigers 810 meter van de trein vandaan en zijn de achterste reizigers 270 meter van de trein vandaan (afstand van 270 meter afgelegd in 9 minuten, $V_{gem} = 0,5$ m/sec). Na 20 minuten heeft 60 % van de reizigers de dwarsverbinding bereikt. Van de overige 40 % van de reizigers zal nog circa 25 % de dwarsverbinding kunnen bereiken.

Aanname 107: Bij een langzaam evacuatieverloop en dwarsverbindingen om de 500 meter zal 30 % van alle reizigers in de tunnelbuis met de brandende trein achterblijven.

Conclusie:

$P_{snelle\ evacuatie} = 0,3$; $N = 0,025 * 505 = 13$ potentiële doden

$P_{gemiddelde\ evacuatie} = 0,4$; $N = 0,05 * 505 = 25$ potentiële doden

$P_{langzame\ evacuatie} = 0,3$; $N = 0,30 * 505 = 152$ potentiële doden

Voor het kwantificeren van het effect van de dwarsverbindingen in het referentie-ontwerp is aangenomen dat het effect op het rendement van de hulpverlening verwaarloosbaar is.

Het resultaat van deze kwantificering is weergegeven in figuur 6.6.

Scenario	Kans op brand in de trein (per treinkilometer)	Detectie (vroeg of laat)	Kans op mislukte blusactie	Fictieve kilometers tunnel	Evacuatie (snelle, gem. of langzame evacuatie)	Aantal dodelijke slachtoffers	Hulpverlening (snelle of langzame hulpverlening)	Reductie slachtoffers door hulpverlening	Kans van optreden van het scenario (P)	Totale gevolg (aantal dodelijke slachtoffers; N)	P*N	P*N*N
1	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	13	0,8	-60	1,112E-05	0	0,0000	0,0000
2	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	25	0,2	-10	2,779E-06	15	0,0000	0,0006
3	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	152	0,8	-60	5,559E-06	92	0,0005	0,0471
4	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	13	0,2	-10	2,779E-06	3	0,0000	0,0000
5	6E-10	0,6	0,3	321700	0,4	25	0,8	-60	1,112E-05	0	0,0000	0,0000
6	6E-10	0,6	0,3	321700	0,2	152	0,2	-10	1,390E-06	142	0,0002	0,0280
7	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	13	0,8	-60	2,030E-05	0	0,0000	0,0000
8	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	25	0,2	-10	5,076E-06	15	0,0001	0,0011
9	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	152	0,8	-60	1,015E-05	92	0,0009	0,0859
10	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	13	0,2	-10	5,076E-06	3	0,0000	0,0000
11	6E-10	0,4	0,6	440600	0,4	25	0,8	-60	2,030E-05	0	0,0000	0,0000
12	6E-10	0,4	0,6	440600	0,2	152	0,2	-10	2,538E-06	142	0,0004	0,0512
13	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	13	0,8	-60	1,838E-05	0	0,0000	0,0000
14	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	25	0,2	-10	4,596E-06	15	0,0001	0,0010
15	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	152	0,8	-60	9,191E-06	92	0,0008	0,0778
16	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	13	0,2	-10	4,596E-06	3	0,0000	0,0000
17	4E-10	0,4	0,7	512900	0,4	25	0,8	-60	1,838E-05	0	0,0000	0,0000
18	4E-10	0,4	0,7	512900	0,2	152	0,2	-10	2,298E-06	142	0,0003	0,0463
19	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	13	0,8	-60	4,294E-05	0	0,0000	0,0000
20	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	25	0,2	-10	1,073E-05	15	0,0002	0,0024
21	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	152	0,8	-60	2,147E-05	92	0,0020	0,1817
22	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	13	0,2	-10	1,073E-05	3	0,0000	0,0001
23	4E-10	0,6	0,9	621200	0,4	25	0,8	-60	4,294E-05	0	0,0000	0,0000
24	4E-10	0,6	0,9	621200	0,2	152	0,2	-10	5,367E-06	142	0,0008	0,1082
									gemiddelde			0,006
									standaardafwijking			0,8
									Karakteristieke Waarde			2,4

Figuur 6.6: Berekening risiconiveaus HST met 505 reizigers

De berekening in figuur 6.6 toont een Karakteristieke Waarde van 2,4 slachtoffers per jaar voor deze maatgevende calamiteit en reizigersbezetting. De berekening voor hetzelfde referentie-ontwerp en aanvullende veiligheidsmaatregelen toont een een Karakteristieke Waarde van 8,2 slachtoffers per jaar (zie paragraaf 6.4, figuur 6.3) Het aantal reizigers in de trein is een sterke bepalende factor in het uiteindelijke niveau van de Karakteristieke Waarde.

7 Resultaat boortunnel Groene Hart

In dit deelrapport is een model weergegeven voor een integraal veilig vervoerssysteem voor de tunnel onder het Groene Hart. Dit hoofdstuk bevat de conclusies over de structuur van het model en de resultaten voor de implementatie van veiligheid in de boortunnel onder het Groene Hart. Daarnaast worden enige aanbevelingen gegeven om het model te verbeteren of om het effect van veiligheidsmaatregelen beter te kunnen waarderen.

7.1 Conclusies model

Het model voor een integraal veilig vervoerssysteem is tot stand gekomen op basis van het Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid en de geformuleerde aanvullingen daarop (zie deelrapport I, paragraaf 6.3).

- Het onderscheid in veiligheidseisen, een referentie-ontwerp en veiligheidsmaatregelen vergroot het inzicht in de effectiviteit van de maatregelen en geeft een duidelijke structuur aan de veiligheidsproblematiek.
- Het toepassen van een integraal referentie-ontwerp en een continue toetsing van de integraliteit vormt een eerste aanzet om een vroegtijdige versmalling en suboptimalisatie van het probleem te voorkomen.
- Het model maakt duidelijk dat veiligheidsmaatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen een relatief groot rendement hebben.
- De uitwerking van het model en de bijbehorende aannamen zijn dusdanig grof dat een gedetailleerde kwantificering van het rendement van de veiligheidsmaatregelen nog niet mogelijk is.
- Het onderscheid tussen het Persoonlijk Risico en Karakteristieke Waarde wordt in het model nog onvoldoende tot uiting gebracht.
- De hoeveelheid treinreizigers in de trein heeft een grote invloed op de uiteindelijke waarde van de risiconiveaus. De keuze voor een maatgevende trein met 1.350 reizigers is dan ook niet representatief voor de werkelijkheid.
- De interpretatie van de verschillende veiligheidsmaatregelen toont een belangrijke onderscheid in het gekwantificeerde rendement en de toetsing aan de verschillende veiligheidseisen.
- De schatting van 10 minuten van het ontstaan van de brand tot het falen van een essentieel onderdeel is enigszins conservatief. In de werkelijkheid zal een concept van stoppen buiten de tunnel een grotere bijdrage leveren aan de veiligheid.

7.2 Conclusies veiligheid

In deze paragraaf zijn de conclusies voor de veiligheid van de boortunnel onder het Groene Hart samengevat. Deze conclusies zijn geformuleerd op basis van de uitkomsten uit het model met de multidisciplinaire benadering voor de veiligheid.

- Het risiconiveau voor het referentie-ontwerp met de aanvullende veiligheidsmaatregelen bij een brandende trein in de tunnel onder het Groene Hart is hoger dan het totale risiconiveau voor de gehele HSL-Zuid.
- Bij het ontwerpen van een vervoerssysteem zoals de HSL-Zuid is het opnemen van veiligheidsmaatregelen in de eerste schakels van de veiligheidsketen het meest effectief, zowel probabilistisch als in de perceptie van de gebruikers.

- Het rendement van de hulpverlening voor de reductie van het aantal slachtoffers is niet zeer groot. Het effect van de hulpverlening op nazorg van de reizigers is echter groot en in dit model weinig belicht.
- Het onderscheid tussen ongevallen met 1.000, 1.200 of 800 doden is niet relevant voor de perceptie van de maatschappij over de veiligheid van het systeem.
- Het toepassen van een "safety haven" is niet effectief door de relatief korte lengte van de tunnel.
- Het streven naar een gecontroleerde stop levert een aanzienlijke reductie in de kans op een stilstaande brandende trein in de tunnel.
- Het reduceren van de brandkans per treinkilometer lijkt een zeer effectieve en rendabele maatregel om de veiligheid sterk te vergroten.
- In de gevolgenbestrijding is maximale zelfredzaamheid de belangrijkste sturende parameter.
- Een jaarlijkse training van treinpersoneel over hoe te handelen bij calamiteiten is een veiligheidsmaatregel die aanbevolen wordt.
- Het effectief gebruik van een ventilatiesysteem is per situatie sterk verschillend, waardoor de betrouwbaarheid sterk afhangt van de specifieke omstandigheden.
- Het toepassen van dwarsverbindingen om de 750 meter lijkt voor de probabilistische berekening acceptabel, maar op basis van zelfredzaamheid voor de reizigers is aan te bevelen om de dwarsverbindingen om de 500 meter aan te leggen. Een mogelijke toekomstige uitbreiding in de exploitatie onderbouwt deze keuze.
- Het toepassen van verlichting en ergonomische markering van de vluchtroute is een maatregel met een hoge effectiviteit door de geringe investeringen en de bijdrage aan de zelfredzaamheid van de reizigers.
- Het trainen van hulpverlenende diensten in de specifieke tunnel is essentieel voor de uiteindelijke effectiviteit van de hulpverlening.
- In het calamiteitenplan voor de boortunnel onder het Groene Hart dient een gebruik van andere treinen voor reddingsdoeleinden opgenomen te worden.

7.3 Aanbevelingen

Op basis van het opgestelde model en daaruit volgende conclusies, is een aantal aanbevelingen geformuleerd. Dit zijn aanbevelingen ter verbetering en aanvulling van het model en aanbevelingen voor nader onderzoek naar veiligheidsmaatregelen met een groot rendement voor de veiligheid van de boortunnel.

- Een gedetailleerde analyse van de belangengroepen moet uitgevoerd worden om de veiligheidseisen duidelijk geformuleerd te krijgen, waardoor toetsing van het ontwerp aan de eisen mogelijk wordt.
- De aannamen in het model voor de rookontwikkeling in de tunnel, het effect van de rook op de reizigers en het moment van starten van evacuatie dienen met een studie beter onderbouwd te worden.
- In het model moet ook het effect op de veiligheid van botsing, ontsporing en aanrijding getoetst worden.
- De eisen en verwachtingen die gesteld worden aan hulpverleners dienen duidelijk geformuleerd te worden. Voor de hulpverleners moet duidelijk worden vanaf welk type calamiteit een effectieve inzet niet meer verwacht en geëist wordt door de maatschappij.
- Een nader onderzoek naar het rendement en de betrouwbaarheid van een ventilatiesysteem in combinatie met schachten naar maaiveld dient uitgevoerd te worden.
- Het verlagen van de brandkans is een veiligheidsmaatregel met een grote effectiviteit en de mogelijkheden hiertoe zullen dan ook nader onderzocht moeten worden.

8 Literatuur

- [BiZa, 1997]
Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding
Beveiligingsconcept Spoorwegtunnels uitsluitend bestemd voor goederenvervoer
1997
- [Brascamp, februari 1998]
ir. M. Brascamp, PHZI-BBT-team
RAMS-EISEN voor BBT-Beveiliging HSL-Zuid (in bewerking)
27 februari 1998
- [Camp & Erens, 1996]
Peter Camp & Funs Erens
De gekookte kikker, meer dan 200 metaforen over organisatieverandering
1996
- [CUR N 110, april 1997]
ir. T. Wiersma & ir. M. Molag, TNO-MEP-R 97/156
Invloed veiligheidsvoorzieningen van tunnels op de risico's voor gebruikers en constructie
april 1997
- [Griffioen, december 1995]
drs. E. Griffioen & ing J. Stuifmeel, Railed Spoorwegveiligheid
Tunnelstudie HSL, risico-analyse/faal-analyse
19 december 1995
- [Heesterbeek, december 1995]
ir. J. M. Heesterbeek, Holland Railconsult, vakgroep tunnelinstallaties
VA A&B - Tunnelstudie HSL
5 december 1995
- [Hendriks, oktober 1997]
P.J.C. Hendriks, Railed Capaciteitsplanning
HSL-Zuid, Exploitatieve uitgangspunten (Voorheen werkhypothese)
22 oktober 1997
- [Houben, januari 1998]
ir. R.J. Houben, Projectdirectie Hogesnelheidslijn-Zuid
Memo over normen voor veiligheid tunnels
21 januari 1998

- [Kleinhans, februari 1998]
M.J.M. Kleinhans, Railned
Brandende trein in groene hart-tunnel, Procesbeschrijving, concept
26 februari 1998

- [PHZ, september 1997]
Projectgroep Integraal VeiligheidsPlan
Sturen op veiligheid, eindrapport fase 1, Integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid.
september 1997

- [PHZI, februari 1998]
Projectorganisatie HSL-Zuid Infra
Vergadering Stuurgroep veilige tunnels
17 februari 1998

- [Regt de, januari 1998]
ir. J.T.M. de Regt, NS Materieel Engineering
Brondocument Evacuatie tijden Materieel HSL-Zuid, reizigerscapaciteit, in- en uitstapcapaciteit
9 januari 1998, versie 1.1

- [Stuifmeel, april 1997]
Ing. J. Stuifmeel, Railned Spoorwegveiligheid
Brand in treinen; Gegevens t.b.v. veiligheidsanalyse HSL-Zuid tunnel onder het Groene Hart
11 april 1997

- [Wijnands, februari 1998]
ir. M.N.J.H. Wijnands, PHZI
Veilige tunnels; Een balans tussen voorkomen, redden en bestrijden, concept
2 februari 1998

- [Zijdemans, februari 1998]
ir. P.C.K. Zijdemans & ir. E. Tolner, NS Materieel Engineering
Systeembeschrijving materieel, eerste stap, concept
17 februari 1998

Integrale veiligheid spoortunnels

Deel III: Bijlagen

Datum	8 mei 1998
Ons kenmerk	-
Bestand	BIJLAGE.DOC
Opsteller	B.P. Smolders
Status	Eindrapport
Fase	4
Gecontroleerd	-
Goedgekeurd	-
Geautoriseerd	-

Een olifant met manieren

“Voor de aanleg van nieuwe of bredere wegen en grote verkeerspleinen zijn miljarden guldens uitgetrokken. De porseleinkast van de infrastructuur wordt zo gemaakt dat de olifant er geen kwaad kan doen. Maar het kan geen kwaad om te proberen de olifant wat manieren bij te brengen.” [Camp & Erens, 1996]

Voorwoord

Na vijf en een half jaar studie aan de Faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft heeft u het resultaat in handen van één van mijn laatste activiteiten als student. Deze rapportage vormt het eindverslag van mijn afstudeeronderzoek dat, namens NS Railinfrabeheer, heeft plaats gevonden bij de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra in Utrecht.

In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra wordt op dit moment hard gewerkt aan het ontwerp van de infrastructuur voor de HSL-Zuid, die in 2005 gereed zal moeten zijn. In de Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid Infra werken NS Railinfrabeheer, Holland Railconsult en DHV Milieu en Infrastructuur samen onder verantwoordelijkheid van de Ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM.

De rapportage van het afstudeeronderzoek bestaat uit drie deelrapporten die min of meer onafhankelijk van elkaar gelezen kunnen worden. Het eerste deelrapport vormt het hoofdrapport waarin de gehanteerde veiligheidsfilosofie voor de HSL-Zuid getoetst en uitgewerkt is voor de boortunnel onder het Groene Hart. Het tweede deelrapport is toegespitst op de boortunnel en bevat de specifieke uitwerking van de veiligheidsfilosofie naar veiligheidsoplossingen. Het derde deelrapport bevat de gedetailleerde analyses van veiligheid bij infrastructurele projecten op basis waarvan de veiligheidsfilosofie in het eerste deelrapport is getoetst. In dit laatste deelrapport kunt u ook de overige achtergrondinformatie vinden.

Ik hoop dat u na het lezen van dit deelrapport inzicht heeft gekregen in de veiligheidsproblematiek bij de verschillende infrastructurele projecten.

Bart Smolders

Utrecht, 8 mei 1998

Voorliggende rapportage is het resultaat van een afstudeeronderzoek bij de Faculteit Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderzoek is namens NS Railinfrabeheer uitgevoerd bij de Projectorganisatie HSL-Zuid Infra. De auteur of één van bovengenoemde organisaties neemt geen enkele verantwoordelijkheid voor de uitwerking of interpretatie van de gepresenteerde resultaten.

Inhoudsopgave

Bijlage A:	Krantenartikelen "Veiligheid in de Maatschappij"
Bijlage B.1:	Gegevens menselijk gedrag bij brand
Bijlage B.2:	Casuïstiek brand in treinmaterieel in Nederland
Bijlage C.1:	Overzicht HSL-Zuid tracé
Bijlage C.2:	Planning & procedures HSL-Zuid
Bijlage C.3:	Overzicht ongevallen conventioneel spoor
Bijlage D.0:	Analyse veiligheid Willemspoortunnel
Bijlage E.0:	Analyse veiligheid Westerschelde Oever Verbinding
Bijlage E.1:	Samenvatting TNO-studie: Vergelijking veiligheid voor de weggebruiker van twee varianten van de Westerschelde Oeververbinding.
Bijlage E.2:	Vergelijking effect meenemen risico-aversie
Bijlage E.3:	Optimalisatie dwarsverbindingen Westerschelde Oeververbinding
Bijlage F.0:	Analyse veiligheid Störebelttunnel
Bijlage F.1:	Dwarsdoorsnede Störebelttunnel
Bijlage G.0:	Analyse veiligheid Kanaaltunnel
Bijlage G.1:	Materieel Kanaaltunnel
Bijlage G.2:	Overzicht ongevallen conventioneel Engels spoor
Bijlage G.3:	Gebeurtenissenboom brand in een goederenshuttle
Bijlage G.4:	Artikel Cement: Brand in de Kanaaltunnel
Bijlage G.5:	Artikel Modern Railways: <i>Eurotunnel's fateful night, What actually happened!</i>
Bijlage H.0:	Analyse veiligheid Channel Tunnel Rail Link
Bijlage H.1:	CTRL: Risico-normen voor passagiers en publiek
Bijlage H.2:	CTRL: Risico-normen voor personeel
Bijlage H.3:	CTRL: Normen voor maatschappelijk risico
Bijlage H.4:	CTRL: Resultaten risico-analyse voor dwarsverbindingen London Tunnel
Bijlage I.0:	Onderbouwing aanpassing normering maatschappelijk risico HSL-Zuid
Bijlage I.1:	Vergelijking F-N curven, traject van 100 kilometer
Bijlage I.2:	Vergelijking F-N curven per kilometer
Bijlage I.3:	F-N curve maatschappelijk risico HSL-Zuid, traject van 100 kilometer
Bijlage J.1:	Systeembeschrijving materieel

Bijlage A: Krantenartikelen "veiligheid in de maatschappij"

Jorritsma wil geen tunnel in Limburgse A 73

Van onze correspondent

MAASTRICHT/ROERMOND

Na drie jaar onderzoek en calculaties staat de aanleg van de Limburgse A 73 weer op de Haagse politieke agenda. De autosnelweg tussen Roermond en Maasbracht blijkt ongeveer tweehonderd miljoen gulden duurder uit te vallen dan verwacht. Minister Jorritsma van Verkeer wil daarom de tunnel onder het Roerdal schrappen. Een brug voldoet ook, vindt de minister.

De VVD-minister riep met haar bezuinigingsplan vorige week afkeurende reacties op in het Limburgse Horn. De bewindsvrouw bruskeerde haar partijgenoten van de VVD-afdeling Roermond met de opmerking 'geen cent extra' te willen uitgeven aan de A 73. Die uitspraak betekent dat Roermond geen tunnel onder het Roerdal krijgt. Het wordt een goedkopere brug.

'Het bezoek is heel slecht gevallen', zegt VVD-Kamerlid J. van Rey uit Roermond. 'Wij krijgen het op ons dak, alsof wij Limburgers meer vragen. Maar het kabinet heeft zelf voor die tunnel gekozen.'

Op 3 maart 1995 leek een twintig jaar durende discussie gesloten toen het kabinet zich neerlegde bij een motie van de Tweede Kamer: de A 73 werd aangelegd op de oostoever van de Maas. Een dag eerder had de Kamer daarover gedebatteerd en de westoevervariant van het kabinet met één stem verschil verworpen. Het oost-tracé heette verkeerstechnisch een gunstige keuze, maar voor het milieu een ramp. Om het stroomdal van de Roer te ontzien besloot het kabinet daarom voor een 2,3 kilometer lange tunnel onder het gebied en een verderop gelegen tunnelbak.

Voor de A 73 met tunnel en tunnelbak heeft Jorritsma 1,2 miljard gulden gereserveerd. Vorig jaar januari calculeerde het Projectbureau Rijksweg 73 Zuid voor het eerst een budgetoverschrijding van vierhonderd miljoen gulden. Er kwamen herberekeningen, Jorritsma sommeerde dat het goedkoper moest, maar de tunnel blijft in zijn soberste uitvoering tweehonderd miljoen gulden duurder.

Projectleider R. Prins van Projectbureau Rijksweg 73 Zuid houdt het erop dat de weg tussen 1,2 en 1,6 miljard gulden gaat kosten. Hij wijt de budgetoverschrijdingen vooral aan nieuwe, strengere veiligheidsvoorschriften voor te bouwen tunnels in Nederland. De tunnel onder de Roer moet onder meer worden voorzien van een vluchtbuis, hittebestendige wanden en ventilatievoorzieningen.

Indien Jorritsma de tunnel uit de plannen schrapt en dus afwijkt van het kabinetsbesluit, zal ze verantwoording moeten afleggen aan de Tweede Kamer. Daar wil een meerderheid (PvdA, D66, CDA) Jorritsma aan haar afspraken houden.

PvdA-Kamerlid R. Van Gijzel vindt niet dat aan een essentieel onderdeel (de tunnel) van het tracébesluit kan worden gemorfeld. 'Het kabinet moet zijn beloften nakomen', zegt ook J. Reitsma van het CDA. N. van 't Riet (D66): 'Die brug moet gehandhaafd blijven. Anders moeten we het west-tracé maar weer in discussie brengen.'

Om haar doel te bereiken zal minister Jorritsma haar collega De Boer van VROM in het kabinet over de streep moeten trekken. Die was echter diep teleurgesteld toen de stemming op 2 maart 1995 anders uitviel dan de keuze die zij voorstond. Ze ervoer de keuze voor het oost-tracé als een persoonlijke nederlaag. Op initiatief van De Boer werd door de ministerraad een dag later de tunnel in het Roerdal geprojecteerd.

De VVD-afdeling in Roermond heeft fractieleider Bolkestein dringend verzocht om Jorritsma tot de orde te roepen. De minister brengt het aangepaste tracébesluit mogelijk vrijdag in de ministerraad. In de brandbrief aan Bolkestein wordt gewezen op beloften die zijn gedaan aan omwonenden van het Roerdal in Roermond. Met de komst van een brug kunnen twee wijken in Roermond rekenen op flinke geluidsoverlast.

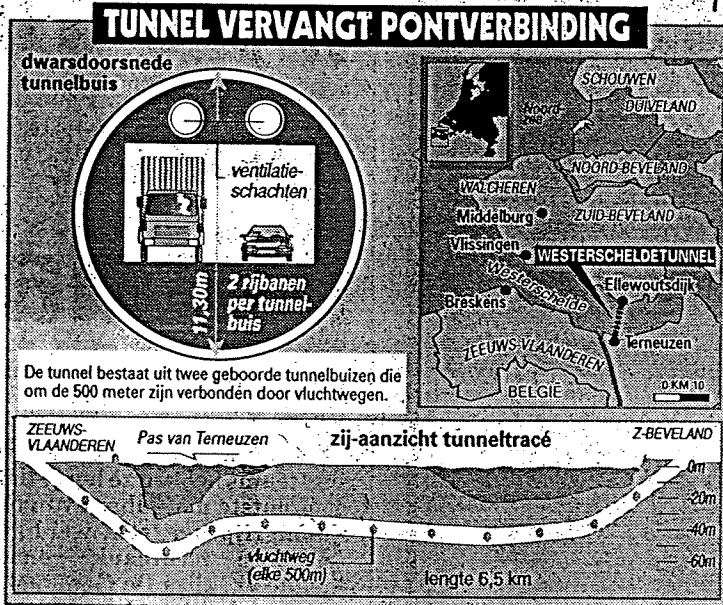
De gemeente in Roermond hoopt dat het kabinet nog voor de Tweede-Kamerverkiezingen een beslissing neemt. 'Nieuwe verdraging is maatschappelijk onaanvaardbaar', verzucht wethouder Bloemendaal.

Westerscheldetunnel nu al fors duurder

Telegraf 27/1/98 Van onze correspondent

TERNEUZEN, dinsda

De kosten voor de aanleg van de Westerscheldetunnel zullen f 155 miljoen meer bedragen dan de f 1,8 miljard die was begroot.



„Een behoorlijk bedrag, maar het spreekt vanzelf dat je geen concessies kunt doen aan de veiligheid”, aldus minister Jorritsma (Verkeer en Waterstaat), gisteren bij de officiële start van de bouwwerkzaamheden in Terneuzen.

De kosten hebben dan ook vooral te maken met extra veiligheidsmaatregelen voor de gebruikers. Tussen de twee tunnelbuizen moeten twee keer zoveel dwarsverbindingen komen en een dikkere brandwerende laag.

Al in 1930 bedachten enkele zakenlieden uit Goes het ambitieuze plan om een tunnel onder de Westerschelde aan te leggen. Nu, bijna 70 jaar later, is het dan zover. Het boren van de twee buizen met een doorsnede van ruim 11 meter voor de Westerscheldetunnel is een unieke onderneming. De tunnel wordt met 6,5 km de langste van West-Europa in 'slappe' grond.

Rendabel

„De financieringsvorm is net zo innovatief als het project zelf”, vond de minister gisteren. De tunnel wordt betaald uit de tolopbrengsten en jaarlijkse bijdragen van rijk en provincie. Er komt geen risicodragende, private financiering aan te pas.

Tegenover de rijksbijdrage staat het wegvallen van de jaarlijkse f 50 miljoen subsidie aan de veerdiensten. „Vergeleken met de veerdiensten is de tunnel een rendabele investering. Veerponten zijn bovendien niet erg efficiënt in het

hedendaags verkeer”, aldus Jorritsma. Op de dag dat de tunnel wordt geopend krijgen dan ook 350 werknemers van de Zeeuwse veerdienst PS ontslag.

Een ritje zal rond de 12 gulden gaan kosten. Verwacht wordt dat de tunnel, die in 2002 klaar moet zijn, voor vrachtverkeer en auto's maar caravan een probleem kan opleveren. Het hellingspercentage is weliswaar slechts 4 procent, maar juist daardoor zal de helling zeer lang zijn. Er zal dan een aparte baan moeten komen, om het overige verkeer niet helemaal in de war te brengen.

B U I T E N L A N D

ITALIË

Verstokte bureaucraten

Nu de euro-criteria zijn gehaald, stuit de ontmanteling van de inefficiënte ambtenarij in Italië op hevig verzet

De trein die vorige week in Toscane ontspoorde op bijna dezelfde dag dat premier Prodi de natie plechtig dankte voor het bereiken van de euro-criteria, droeg de naam 'Eurostar'. Het puikje van de Italiaanse spoorwegen negeerde een signaal, belandde op de verkeerde rails en ramde een lokale trein. Enkele weken daarvoor trok eenzelfde soort super-trein bijna tweehonderd meter bovenleiding naar beneden. 'Italië in tweeën gedeeld,' schrijven de kranten routineus over de gevolgen van dit soort ongelukken. Cynici parafr-

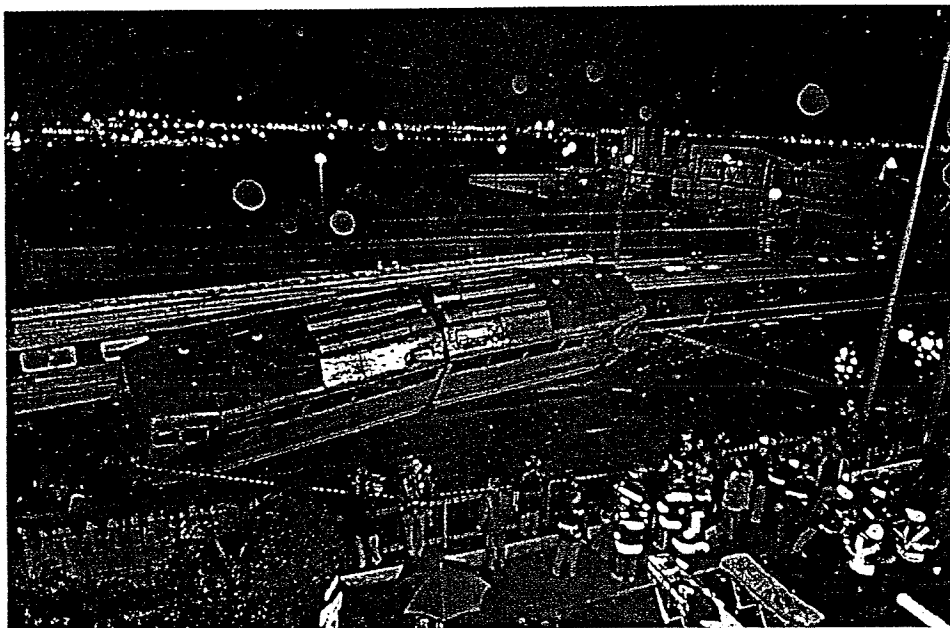
de weinig te benijden baan heeft van minister van Openbaar Bestuur. Bassanini, die lid is van de ex-communistische PDS, de grootste regeringspartij, heeft zich een doel gesteld waarvoor veel moed is vereist: de hervorming van de bureaucratie. De Italiaanse ambtenarij is ongetwijfeld de meest bizarre en minst efficiënte van Europa. Vorige week presenteerde Bassanini zijn revolutionaire decreet dat mikt op de ontmanteling van nutteloze diensten, bundeling van competenties en decentralisatie. Voor de vier miljoen ambtenaren worden

vernieuwen van het geboortebewijs. Wel gaan op deze manier negentig miljoen werkdagen in rook op. Van automatisering is weinig sprake bij de overheid, niet vanwege het gebrek aan geld – er is de afgelopen tien jaar 25 miljard gulden voor uitgetrokken – maar vanwege het onvermogen om een project van de grond te krijgen.

Bassanini pleit voor een revolutie, evenals zijn partijgenoten, de ministers van Industrie en Transport. De eerste heeft een complete deregulering voorgesteld van de middenstand, en de ander wil een snelle modernisering en privatisering van het vervoer. Verzet is gegarandeerd. Dat komt doordat de 'machtige partij van de conservering' wordt uitgedaagd, zoals commentator Edmondo Borselli al die groepen noemt die al decennialang onaantastbaar in de samenleving staan. Tot deze club behoren staatsmanagers en andere hoge bureaucraten – 'mandarijnen' genoemd – , maar ook

bijvoorbeeld hoogleraren en vakbondsleiders. Tussen de bonden en de leiding van de ministeries en overheidsbedrijven – zie de spoorwegen – bestaan afspraken die zo sterk zijn dat er van een symbiose kan worden gesproken. Menig ambtenaar is dan ook een voormalig vakbondsmann.

Lukt het om het oude Italië open te breken en misschien wel de eerste echte stap voorwaarts te maken? De Italiaanse bevolking wil wel, en gokt op Europa. Ook omdat, zoals het weekblad *L'Espresso* schreef, 'ze de Italiaanse bezetting van Italië zat is'. Veel van die 'bezettters' denken er anders over. Beneveld door een euforie die alles te maken heeft met het feit dat de pers de Economische en Monetaire Unie (EMU) gelijkstelt aan het EK-voetbal, wordt geredeneerd: 'De overwinning is binnen, terug naar waar we gebleven waren'. De vraag lijkt



Symboliek in Florence: de snelle Eurostar – het puikje van de spoorwegen – botste op het lokale boemeltje

seren Mussolini en stellen dat de treinen tijdens het centrum-linkse regime van Prodi in elk geval op tijd ontsporen.

Italië is in Europa, maar Europa niet in Italië. De situatie bij de Italiaanse spoorwegen illustreert treffend wat er mis is en wat de zojuist bereikte kwalificatie voor de muntunie kan saboteren: enorme hiaten tussen oud en nieuw. Een TGV moet rijden over een volstrekt verouderd, hoofdzakelijk enkelvoudig en overvol spoorwegennet. Hetzelfde contrast – en soms ontbreekt dat nog omdat alles bij het oude is gebleven – kenmerkt de overheidsdiensten, ministeries, lokale overheden, universiteiten en het schoolsysteem.

Er is een Italië dat schreeuwt om modernisering, en iemand die dit heeft begrepen is Franco Bassanini, een 57-jarige professor die

principes geïntroduceerd als loon naar werken, het accepteren van een baan elders in het land en ontslag bij herhaaldelijk stutelen.

Bassanini wil het leven van de Italianen aangenamer maken. Hij reikt de ondernemers de hand, die zojuist hebben uitgerekend dat zij dankzij het oerwoud van 150 duizend wetten – Frankrijk telt er zeventienduizend – jaarlijks 27 miljard gulden verspelen door vooral tijdverlies. Om een fabriek te openen zijn bijvoorbeeld 27 vergunningen nodig. Bassanini wil ook een einde maken aan het verschijnsel dat de Italianen als een soort postbode voor de ambtenaren fungeren. Volgens de statistieken moet elke burger jaarlijks vijftig keer in de rij staan voor een loket om iets mee te delen dat al bekend is bij een ander loket. Soms is daar absoluut geen verklaring voor, zoals bij het

niet hoe Italië in Europa kan worden gehouden, maar hoe de nu veroverde Europese buit moet worden verdeeld.

In de politiek floreren weer de machtsspelletjes. Prodi wordt door iedereen in de nek gesprongen. De communisten, wier parlementaire 'gedoogsteun' van levensbelang is voor de regering, eisen een 35-urige werkweek en willen niets liever dan dat Italië uit het EMU-korset stapte. De vakbonden willen geld voor het arme en werkloze zuiden. De werkgevers hebben alle onderhandelingstafels verlaten en eisen dat Prodi zich losmaakt van de chanterende communisten. De secretaris van de PDS, de baas van Bassanini, aast heimelijk op verkiezingen om de ex-christen-democraat Prodi te lozen. De 'tweede revolutie' is nog lang niet zeker. *Eelco van der Linden in Rome*

Bijlage B.1: Gegevens menselijk gedrag bij brand

In onderstaande tabellen worden enkele statistische gegevens gepresenteerd over de verschillende stadia van een brand. De gegevens zijn verzameld m.b.v. vragenlijsten die aan betrokkenen bij een brand zijn uitgedeeld. In totaal hebben 578 mensen de vragenlijst ingevuld. Het gaat om 575 branden in verschillende gebouwen, variërend van brand in woonhuizen tot brand in kantoorgebouwen. [Griffioen, december 1995]

Tabel 1: signaalherkenning

geen signaal	30%
geur	27%
geluid	19%
ziet iets ongewoons	14%
hoort alarm	4%
ziet brandweer	1%
voelt temp. verschil	1%
geen antwoord	4%

Tabel 2: interpretatie van signaal

niet belangrijk	27%
weet het niet	25%
brand	6%
wel belangrijk	2%
geen antwoord	40%

Tabel 3: acties naar aanleiding van signaal

onderzoekt	30%
onderzoekt uit nieuwsgierigheid	14%
anders	5%
gaat door met bezigheid	4%
vraagt iemand te kijken	1%
geen actie	47%

Tabel 4: gebruik telefoon

gebruikt telefoon brandweer 93% meldkamers 4% andere waarschuwen 1% vraagt advies 1%	69%
gebruikt telefoon niet	31%

Tabel 5: actie bij ontdekken brand

brandweer waarschuwen	33%
brand bestrijden	30%
omgeving veilig maken	21%
andere waarschuwen	15%

Uit het onderzoek blijkt verder dat vluchten moeilijker wordt naarmate de dikte van de rook toeneemt.

Menselijk gedrag bij brand

Een voorbeeld van menselijk gedrag bij calamiteiten is het gedrag bij brand. Bij een brand kunnen drie fasen onderscheiden worden: Herkenning van de brand, gevolgd door vervolgacties en vluchtgedrag. Het gedrag van mensen tijdens de herkenningsfase is te omschrijven als het zoeken naar bevestiging van de brand. Deze bevestiging kan gevonden worden in een groot aantal factoren, zoals: [BiZa, 1997]

- gedrag van andere mensen,
- wat andere mensen zeggen,
- de aanwezigheid van gespecialiseerd personeel,
- veranderingen in de omgeving die niet direct door de brand worden veroorzaakt,
- fysische producten van de brand (hitte, vlammen, gassen, geluid van brekend glas),
- instructies door personeel of een autoriteit.

Het zoeken van bevestiging leidt tot een herkenning van de brand in een later stadium, waardoor de brand al ernstigere vormen heeft aangenomen.

Wanneer de brand herkend is, is een aantal opties mogelijk zoals; anderen waarschuwen, vluchten of de brand bestrijden. De keuze van de vervolgacties is afhankelijk van een aantal factoren. In grote organisaties komt bijvoorbeeld het waarschuwen van anderen meer voor dan in andere situaties. De functie binnen de organisatie speelt ook een rol in de keuze voor een bepaalde actie. Mensen vertonen tijdens een brand vergelijkbaar gedrag als in de normale situatie. Studies tonen aan dat mensen tijdens calamiteiten op vergelijkbare wijze informatie verwerken als in het dagelijkse leven. Verpleegsters zijn bijvoorbeeld gewend om beslissingen te nemen en verantwoordelijkheden te dragen, wat bij een calamiteit tot een doeltreffend gedrag leidt.

Is eenmaal besloten om te vluchten dan is een goede vluchtroute zonder obstakels van groot belang. Een obstakelvrije vluchtweg is echter geen garantie tot succes. Het evacuatieproces kan bijvoorbeeld verhinderd worden door opstoppingen of ongelukken op trappen. Duidelijk wordt dat vroegtijdig herkennen van de brand en een adequate reactie de kans op een grote brand doet afnemen en daarmee de kans op doden en gewonden ook wordt verkleind.

King's Cross

In 1987 ontstond brand in het metrostation van King's Cross in Londen, waarbij 32 doden en meer dan 100 gewonden vielen. Uit een analyse van het menselijk gedrag blijkt dat wat mensen zien als passende handelingen bepaald wordt door een combinatie van wat ze in een bepaalde situatie verwachten en wat autoriteiten zeggen. De mensen luisteren niet naar personeel van de ondergrondse maar wel naar de politie. Dit incident bij King's Cross bevestigt het vermoeden dat eerst een aantal aanwijzingen verzameld en opgemerkt moet worden, voordat actie wordt ondernomen.

Korte beschrijving brand Kings's Cross in Londen, 18 november 1987, 7.30

Om half acht werd brand onder een roltrap geconstateerd. De brand is waarschijnlijk ontstaan door een weggeworpen brandende lucifer, die onder de roltrap is gekomen in een opeenhoping van vuil, vet en olie. De brandweer werd te laat gewaarschuwd. Het stationspersoneel was eerst zelf gaan kijken en verspeelde daarmee kostbare minuten. De brigade van Euston was uitgerukt naar een andere brand en andere korpsen moesten inspringen, ook hierdoor trad tijdverlies op. In korte tijd sloeg het vuur over naar de bovenliggende kaartjeshal. Deze hal veranderde binnen enkele seconden als gevolg van een 'flashover' in een enorme vuurzee, die gepaard ging met intense hitte, vlammen en dikke zwarte rook. De brand had zich onder de roltrap al flink ontwikkeld, voordat met de bestrijding werd begonnen. De flashover is ontstaan door de plotselinge heftige verbranding van de vele lagen verf op het plafond van de hal. De tocht in de tunnel heeft het vuur naar boven gejaagd, waar het de hal binnen enkele seconden in lichterlaaie zette.

Bij de brandweerleiding ontstond consternatie, omdat brandweerlieden werden vermist. Zij bevonden zich beneden op de perrons en de flashover had de mensen boven en beneden van elkaar gescheiden. Beneden wist niemand hoe de situatie boven was, maar men kon wel de vlammenzee zien, die door de tocht in de tunnels naar boven en naar buiten joeg. Boven had men geen idee hoe het beneden was. De brandweer had geen overzichtskaart van het station. De kast met kaarten bevond zich in de hal die in brand stond. In totaal kwamen 32 mensen om het leven en raakten meer dan 100 mensen gewond. [BiZa, 1997]

Resultaat van de brand in het King's Cross Station is een verminderd reizigersaanbod in de London metro van 5 %, gedurende een periode van 2 jaar. [Evans, februari 1998] Het voorbeeld van de brand in het metrostation King's Cross laat zien dat de veiligheid van grote groepen mensen in ondergrondse ruimtes sterk beïnvloed kan worden door "human factors". Belangrijke aandachtspunten zijn dan ook: Het aanzetten van mensen tot het juiste gedrag, het maximaliseren van de zelfredzaamheid en een goede informatievoorziening. Goede informatie en communicatie blijken essentieel.

Bijlage B.2: Casuïstiek brand in treinmaterieel in Nederland

2 Gebruikte gegevens

De gegevens in deze rapportage zijn ontleend aan:

- Management Informatie Systeem Onregelmatigheden Spoorwegveiligheid (MISOS) en
- Relevante onderzoeksrapporten, geselecteerd uit ca. 5000 gearchiveerde rapporten.

MISOS is de databank van Railed-Spoorwegveiligheid. Aan deze databank zijn momenteel drie gegevensverzamelingen gekoppeld:

1. Verzameling van 4.500 gegevens uit onderzoeksrapporten (z.g. B/C-onderzoeken).
2. Verzameling van ca. 1000 gegevens uit onderzoeksrapporten cat. I t/m 3.
3. Verzameling van ruim 400.000 onregelmatigheden, bijna ongelukken en ongelukken in het railverkeerssysteem in Nederland vanaf 1989 tot heden.

Van de bovenstaande gegevensverzamelingen is gebruik gemaakt om betrouwbare data betreffende materieelbranden in reizigerstreinen met elektrische tractie te genereren.

3 Branden in reizigerstreinen 1981 t/m 1995

A.d.h.v. de in hoofdstuk 2 vermelde gegevensverzamelingen in MISOS zijn over een periode van 15 jaar doorsneden gemaakt om de grotere materieelbranden op te sporen. Vervolgens zijn de onderzoeksdossiers gelicht en onderstaande samenvattingen gemaakt. Hierbij is vooral aandacht (voor zover beschreven) besteed aan:

- omvang van de brand;
- verloop van de brand;
- oorzaak van de brand;
- verloop van de blusactiviteiten en
- omvang van de schade.

Op zondag 3 mei 1981 ontstaat om 16.40 uur brand in het laatste rijtuig van een reizigerstrein. De brand wordt ontdekt door reizigers. hoofdconducteurs proberen de brand te blussen met handbrandblusmiddelen, echter zonder resultaat. Reizigers begeven zich naar andere rijtuigen. De trein wordt met behulp van de noodrem tot stilstand gebracht. Het laatste (in brand geraakte) rijtuig wordt afgekoppeld. De inmiddels gewaarschuwde brandweer blust de brand. De totale schade aan het rijtuig wordt geraamd op ca. Fl. 400.000,-- (prijspeil 1981).

Als oorzaak van de brand wordt brandstichting gegeven.

Een klein eindbalkon en een aangrenzend compartiment zijn geheel uitgebrand. Een middencompartiment met een aangrenzend balkon hebben ernstige brand- en rookschade opgelopen.

Op woensdag 30 december 1981 om 00.00 uur wordt door een particulier brand ontdekt in een reizigerstrein die stilstaat langs het perron. De enige aanwezige reiziger verlaat via een reizigersbuitendeur de trein. De ontdekker van de brand meldt dit aan de machinist. De vermoedelijke tijd tussen ontbranding en ontdekking wordt geschat op 12 minuten. De blussing wordt aangevangen om 00.20 uur en om 00.23 uur is de brand geblust. Brandstichting is oorzaak van de brand. De schade bedraagt ongeveer Fl. 10.000,-- (prijspeil 1981).

Op zaterdag 14 februari 1981 ontstaat brand in het achterste slaaprijtuig van een reizigerstrein. De oorzaak van de brand is kortsluiting. De brand wordt ontdekt door een reiziger. Zij waarschuwt de treinleider (een begeleider van Hotelplan). Een vijftiental reizigers worden naar voren gedirigeerd. Vervolgens waarschuwt de treinleider de hoofdconducteur. Na overleg wordt de trein door middel van de noodrem tot stilstand gebracht. Met een zestal brandblussers wordt gepoogd de brand te blussen, echter zonder succes. Op verzoek van de machinist waarschuwen omwonenden de brandweer. De trein wordt opgetrokken tot het achterste rijtuig op een overweg staat. Aldaar blust de brandweer de brand.

Op dinsdag 29 november 1983 wordt om 11.49 uur wordt op het opstel terrein Brinckhorst rookontwikkeling gemeld in treinstel 717. Via de verkeersleiding wordt de brandweer gewaarschuwde. Deze arriveert om ca. 11.59 uur. Nadat de bovenleiding spanningsloos is gesteld en het treinstel geaard, wordt met de blussing van de brand begonnen. Om 12.57 uur wordt het sein "brand meester" gegeven.

De "BDK-bak" van treinstel 717 brandt geheel uit. De "B-bak" heeft grote roet- en waterschade. De schade bedraagt meer dan Fl. 1 mio gulden.

Op donderdag 15 december 1983 om ca. 07.25 uur ontdekken een hoofdconductor en machinist een brandende vouwbalg (verbinding tussen twee rijtuigbakken) in treinstel 818. De brand wordt door beiden geblust met handbrandblusmiddelen. Als oorzaak van de brand wordt vastgesteld, dat door ijzel op de bovenleiding verhitte delen van de koolstrip (onderdeel stroomafnemer) afgebrokkeld zijn en de vouwbalg hebben ontstoken.

Op zaterdag 5 maart 1988 meldt een hoofdconductor via de boordomroep aan de machinist, dat er rook uit de snelschakelaarkast komt. De hoofdconductor verzoekt een reiziger elders plaats te nemen. De machinist brengt de trein tot stilstand. De genoemde kast brand geheel uit; het vuur dooft vanzelf. De eerder genoemde reiziger krijgt in een later stadium ademhalingsmoeilijkheden.

Op maandag 27 juni 1988 om 10.14 uur ontdekken twee hoofdconducteurs brand in een reizigerscompartiment van het derde rijtuig in een reizigerstrein. Er bevinden zich op dat moment geen reizigers in het betreffende rijtuig. Met brandblussers wordt gepoogd de brand te blussen, echter zonder resultaat.

Kort daarna komt de trein d.m.v. een noodremming tot stilstand op spoor 1 te Dordrecht. Medewerkers van de sectie Wegonderhoud Dordrecht waarschuwen de verkeersleiding. Tevens zien de medewerkers, dat een reiziger terugkeert naar het brandende compartiment. De reiziger wil alsnog zijn bagage ophalen. De reiziger wordt door de medewerkers uit de trein geholpen (hij was onwel geworden). De brandweer arriveert om 10.24 uur. Om 11.05 uur wordt het sein "brand meester" gegeven.

Het interieur van het compartiment is geheel vernield. De schade belooft meer dan Fl. 10.000,-. De brand is ontstaan tussen gangwand en één van de zitkussens, door waarschijnlijk een niet gedoopte sigarettenpeuk of brandstichting.

Op zaterdag 30 juli 1988 om ongeveer 04.25 uur ontdekt een machinist brand in een opgesteld treinstel (938) te Binckhorst. Via de Centrale Meldkamer (112 alarmcentrale van NS) wordt de brandweer opgeroepen. Deze arriveert om 04.45 uur. Om 05.11 uur is de brand geblust.

De vermoedelijke oorzaak van de brand is een defect aan een aansluitblok t.b.v. de verlichting (kortsluiting). Dit aansluitblok bevindt zich achter de plafondplaten. De schade is relatief gering.

Later op de dag wordt het treinstel overgebracht naar een werkplaats voor herstelling. Door smeulende resten ontstaat opnieuw brand, met aanzienlijke schade.

Op donderdag 23 februari 1989 om ongeveer 08.20 uur ontstaat brand in de apparatenkast van treinstel 724. De oorzaak van deze brand is kortsluiting (hoogspanning op laagspanningsinstallatie). In het voorlopende treinstel ontploft de voetverwarming in de bediende cabine. De trein wordt onmiddellijk door de machinist tot stilstand gebracht. De machinist verlaat de cabine. Verderop in de trein ziet hij ook rookontwikkeling. Een begin van brand wordt door een derde geblust met handbrandblusmiddelen. Reizigers hebben t.g.v. dit voorval geen gevaar gelopen. Wel verlaat een aantal jeugdige reizigers via de buitendeuren aan beide zijden de trein, vermoedelijk om lopend een nabij gelegen station te bereiken. Door de verkeersleiding worden lastgevingen Voorzichtig Rijden¹ (VR) afgegeven aan machinisten van treinen in de omgeving. Dit i.v.m. aanrijdgevaar van personen in en op de baan.

¹ Lastgevingen VR worden door de verkeersleiding afgegeven aan machinisten bij dreigend gevaar. De treinen moeten hun snelheid drastisch verlagen.

Op zaterdag 30 juni 1990 om ongeveer 15.30 uur meldt de machinist aan de verkeersleiding na binnenkomst op spoor 5b te Alkmaar, dat brand is ontstaan in de snelschakelaarkast van treinstel 870. Tevens verzoekt de machinist assistentie van de brandweer.

Van gevaar voor reizigers is geen sprake. T.a.v. de blussing van de brand wordt vermeld, dat bijna alles dat verkeer kan gaan ook verkeer gaat.

Ca. 5 minuten na het ontdekken van de brand wordt gemeld, "vlammen ter hoogte van de snelschakelaarkast".

De brandweer arriveert om ongeveer 15.44 uur met een bluswagen. Om 15.54 uur wordt besloten tot een blusactie met water, op voorwaarde dat de bovenleiding spanningsloos en geaard is.

Om 16.40 uur (!!) komt het bericht, dat de bovenleiding spanningsloos en geaard is.

Schade: Fl. 3,6 mio.

Op woensdag 13 februari 1991 om 19.10 uur meldt een machinist aan de verkeersleiding, dat hij omvangrijke rookontwikkeling ter hoogte van de stroomafnemer van zijn trein heeft waargenomen. De trein staat stil en de machinist gaat op onderzoek uit. Via de intercom verzoekt de machinist aan de hoofdconductor om naar voren te komen. De machinist verneemt van de hoofdconductor, dat in het achterste treinstel sprake is van rookontwikkeling. De machinist en de hoofdconductor brengen de reizigers uit het achterste treinstel naar het voorste treinstel. Teven worden de deuren van het voorste treinstel gesloten om de reizigers te beschermen tegen de rook.

Om 19.20 uur vraagt de machinist via telerail (radioverbinding trein - verkeersleiding) aan de verkeersleiding assistentie van de brandweer. Ook wordt verzocht de spanning van de bovenleiding af te schakelen.

Door middel van de "kortsluitkabel" wordt het nevenspoor gedekt.

Vervolgens worden de reizigers verzocht uit te stappen. Zij worden onder begeleiding van de hoofdconductor naar een nabij gelegen station gebracht.

Om omstreeks 19.40 uur wordt met de bluswerkzaamheden begonnen. De machinist heeft de brandweer overigens al tweemaal voorbij zien rijden. Blijkbaar is de exacte locatie van de trein niet bekend.

De schade wordt geraamd op Fl. 70.000,--.

Op zaterdag 30 november 1991 verzoekt de hoofdconductor aan de machinist om de trein tot stilstand te brengen i.v.m. een brand in een schakelkast. Treinstel 886 wordt tot stilstand gebracht; de stroomafnemers worden neergelaten en het treinstel wordt geaard. Hierna opent de machinist de kast waarin zich de snelschakelaar bevindt en blust de brand met de in het treinstel aanwezige brandblusser.

Het vermoeden bestaat, dat de brand is aangestoken door reizigers.

Er bestond geen gevaar voor reizigers en de schade is gering.

Na dit voorval is het betreffende treinstel overgebracht naar de werkplaats Maastricht voor reparatie. Door smeulende resten breekt daar op het opstel terrein opnieuw brand uit in het treinstel, dat geheel uitbrand. De schade loopt in de miljoenen.

Op dinsdag 31 december 1991 wordt door een machinist van een passerende trein zware rookontwikkeling ontdekt in een treinstel dat leeg staat opgesteld op spoor 30 te Den Haag CS. De machinist meldt de rookontwikkeling direct aan de verkeersleiding, die vervolgens om 05.28 uur via de Centrale Meldkamer van NS in Utrecht de brandweer ter assistentie vraagt. Tevens verzoekt de verkeersleiding aan de Centrale Schakelpost om de bovenleidingspanning ter plaatse uit te schakelen en de bovenleiding te laten aarden.

Om 05.34 uur rukt de brandweer uit en is om 05.37 uur ter plaatse met een autospuit en een reddingsvoertuig. De brandweer wacht met blussen en verzoekt om 05.48 uur de bovenleiding te aarden.

Om 06.11 uur wordt de bovenleiding geaard en hierna begint de brandweer met het blussen van de brand. Om 06.35 uur is de brand in treinstel 462 geblust.

Van treinstel 462 is 1 compartiment geheel uitgebrand, de rest van het treinstel loopt rook- en waterschade op.

In het treinstel werd in de nabijheid van de brandhaard een jerrycan aangetroffen.

Monsters uit deze jerrycan en monsters van een teerachtige vloeistof aangetroffen onder een zitbank, werden voor nader onderzoek overgebracht naar het Gerechtelijk Laboratorium te Rijswijk. Gebleken is, dat de monsters motorbenzine bevatten. Conclusie: brandstichting. De schade loopt in de tonnen.

Op zaterdag 25 april 1992 merkt de machinist dat er in zijn trein aan de noodrem is getrokken. Nadat de trein tot stilstand is gekomen (20.55 uur) gaat de machinist op onderzoek uit. Een reiziger verteld hem dat achter in de trein een bank in brand staat. De rookontwikkeling beperkt zich tot het tweede rijtuig van het treinstel.

De machinist herstelt de noodremtrekking en rijdt door naar het eerstvolgende dichtbij gelegen station. Onderweg neemt hij via telerail om 21.00 uur contact op met de verkeersleiding. De verkeersleiding waarschuwt de brandweer en dirigeert deze naar het betreffende station. Bij aankomst op het station laat de machinist de reizigers uitstappen en meldt om 21.02 uur dat de trein "flink in brand" staat.

De brandweer is om 21.15 uur aanwezig en informeert of er geblust kan worden .

Omstreeks 21.28 uur is de brandweer de brand meester.

Het 2e klas compartiment in de Abk-bak van stel 2031 loopt zware brandschade op. De overige compartimenten lopen ernstige rookschade op.

De oorzaak van de brand is brandstichting.

Op vrijdag 25 december 1992 komt trein 2156 tot stilstand doordat aan de noodrem getrokken is. Machinist en hoofdconducteur gaan op onderzoek uit en zien dat er brand is in het 1e klas compartiment van het A-rijtuig van treinstel 775. Ook wordt geconstateerd dat er zich geen reizigers meer bevinden in het betreffende compartiment. Om 18.00 uur wordt de verkeersleiding op de hoogte gebracht van het feit dat de trein stilstaat en dat er vermoedelijk brand is. Om 18.03 uur wordt voor de tweede maal contact gezocht via telerail met de verkeersleiding.

De verkeersleiding waarschuwt de Centrale meldkamer, die vervolgens de brandweer oproept.

Het overige treinverkeer rijdt inmiddels met lastgevingen.

Een van de treinen stopt ter plaatse, neemt alle reizigers van trein 2156 aan boord en brengt deze naar een nabij gelegen station.

De verkeersleiding heeft inmiddels de bovenleidingspanning laten afschakelen. De brandweer, die om 18.09 arriveert is hiervan op de hoogte en begint met blussen.

Omstreeks 19.00 uur is de brandweer het vuur meester en wordt begonnen met de nabluswerkzaamheden. Te 19.32 uur is de brand geheel geblust.

De schade wordt geraamd op Fl. 1.500.000,-; een rijtuig is als gevolg van de brand zeer ernstig beschadigd.

Technisch onderzoek wijst uit, dat er sprake is van brandstichting.

Op maandag 11 januari 1993 (ca. 13.50 uur) wordt de machinist van trein 2344 d.m.v. de portofoon opgeroepen door de hoofdconductor. De conductor verzoekt de machinist te stoppen en tevens brandweerassistentie in te roepen i.v.m. rookontwikkeling in het achterste rijtuig.

Na een drietal pogingen lukt het de machinist verbinding te krijgen met de verkeersleiding en vraagt om brandweerassistentie en deelt de exacte positie van de trein mee.

De machinist verlaat vervolgens de locomotief om achteraan de trein polshoogte te nemen. Reizigers in het achterste deel van de trein worden naar voren gebracht. Vervolgens wordt in overleg met de hoofdconductor de trein zodanig opgetrokken dat het brandende rijtuig op een gunstige plaats voor de brandweer (op een overweg) staat.

Nadat het brandende rijtuig op de overweg staat heeft de machinist in samenwerking met een ondertussen ter plekke gestopte andere machinist, de achterste drie rijtuigen van de trein afgekoppeld en de rest van de trein 50 meter verder gereden.

De brandweer was om 14.19 aanwezig.

De bovenleiding was om 14.22 spanningsloos geschakeld en om 14.23 geaard. Hierna zijn de blusactiviteiten direct gestart.

Een rijtuig brandde geheel uit.

Twee andere rijtuigen liepen rook en waterschade op. De totale schade wordt geraamd op Fl. 3.000.000,--

In de nacht van zondag op maandag 26 september 1994 loopt reizigerstrein nummer 3687 station Roosendaal om 01.43 uur. Een Procesmanager "Rijdende dienst" en de Produktieleider zien een hevige rookontwikkeling in het achterste rijtuig van de trein. Via de portofoon waarschuwen zij de Verkeersleiding, die op haar beurt via de Centrale Meldkamer de brandweer waarschuwt.

De verkeersleiding waarschuwt ook de machinist van de betreffende trein. Alle stroomverbruikers worden uitgeschakeld en de stroomafnemers neergelaten.

De brandweer is om 01.50 uur ter plaatse. Met persluchtapparatuur wordt de brand door de brandweer van binnenuit geblust. Er bevinden zich geen reizigers in deze late trein. Om 03.00 uur wordt het sein "brand meester" gegeven.

De brand is veroorzaakt door opzettelijke brandstichting. Op een zitting zijn een aantal kranten aangetroffen en aan de wijze van inbranding is te zien dat de brand daar moet zijn ontstaan. De schade is vergroot door 3 openstaande ramen, waardoor extra zuurstof werd aangevoerd tijdens de rit. Tevens heeft de late ontdekking van de brand een rol gespeeld. De schade bedraagt Fl. 700.000,--. Het achterste rijtuig werd ernstig beschadigd.

Op zaterdag 11 november loopt een machinist om 01.53 uur vanuit een dienstgebouw naar buiten om een treinstel te verplaatsen. Hij ziet op een opstelspoor forse rookontwikkeling en een uitslaande brand in het achterste gedeelte van het 1e klas van treinstel 459. Na via teleraail de verkeersleiding te hebben gewaarschuwd (die via de Centrale Meldkamer de brandweer waarschuwt) gaat de machinist naar het in brand geraakte treinstel. Hij laat de stroomafnemer van het treinstel zakken en spuit via een raam een brandblusser leeg op de vuurhaard. Vervolgens overtuigt hij zich ervan dat alle ramen en deuren van het treinstel gesloten zijn. De spanning op de bovenleiding is inmiddels afgeschakeld. Om 02.06 uur is de brandweer aanwezig. Om 02.28 uur wordt het sein "brand meester" gegeven.

Als oorzaak van de brand wordt brandstichting aangetoond. De schade bedraagt Fl. 500.000,--.

OVERZICHT:

Oorzaak	schade in gulden	ontdekkingstijd	brandweer aanwezig/start blussing	in exploitatie?
brandstichting	400.000,--	16.40 uur	?	ja
brandstichting	10.000,--	00.00 uur	00.20 uur	ja
kortsluiting	?	?	?	ja
onbekend	1.000.000,--	11.49 uur	11.59 uur	nee
brandstichting	10.000,--	10.14 uur	10.24 uur	ja
kortsluiting	gering	04.25 uur	04.45 uur	nee
kortsluiting	gering	08.20 uur	?	ja
kortsluiting	3.600.000,--	15.30 uur	16.40 uur (!)	ja
kortsluiting	70.000,--	19.10 uur	19.40 uur	ja
kortsluiting	gering	?	?	ja
brandstichting	400.000,-- (geschat)	05.28 uur	06.11 uur	nee
brandstichting	800.000,-- (geschat)	20.55 uur	21.15 uur	ja
brandstichting	1.500.000,--	18.00 uur	18.09 uur	ja
brandstichting	3.000.000,--	13.50 uur	14.23 uur	ja
brandstichting	700.000,--	01.43 uur	01.50 uur	ja
brandstichting	500.000,--	01.53 uur	02.06 uur	nee

In de beschouwde periode 1981 tot en met 1995 (15 jaar) is sprake van 16 branden in reizigerstreinen met elektrische tractie waarbij de schade Fl. 10.000,-- of meer bedroeg.

4 Onregelmatigheden 1995 en 1996

Uit de onregelmatigheidsmeldingen van 1995 en 1996 in het railverkeer in Nederland zijn alle branden in reizigerstreinen geanalyseerd.

De totale verzameling onregelmatigheden in 1995 bedraagt 65.188 meldingen.

De totale verzameling onregelmatigheden in 1996 bedraagt 64.616 meldingen.

In 1995 werden in totaal 38 meldingen gedaan van brand in reizigerstreinen. De onderverdeling van deze brandjes is als volgt:

Brand in reizigerstreinen 1995	in toilet	in prullenbak	andere plaats	totaal
kortsluiting	-	-	2	2
brandstichting	6	1	6	13
onbekend	6	5	12	23
totaal	12	6	20	38

Van de 38 branden in 1995 is verder bekend, dat er 31 met succes door eigen personeel geblust werden. De brandweer werd 4 maal om assistentie verzocht. De 3 overige branden doofden uit zichzelf (waaronder de kortsluitbranden).

In 1996 werden in totaal 45 meldingen gedaan van brand in reizigerstreinen. De onderverdeling van deze branden is als volgt:

Brand in reizigerstreinen 1996	in toilet	in prullenbak	andere plaats	totaal
kortsluiting	-	-	5	5
brandstichting	9	1	2	12
onbekend	3	7	18	28
totaal	12	8	25	45

Van de 45 branden in 1996 is verder bekend, dat 37 met succes door eigen personeel geblust werden. De brandweer werd 5 maal om assistentie verzocht. De overige 3 branden (met als oorzaak kortsluiting) doofden uit zichzelf.

5 Verificatie gegevens

In het "Project Ondergrondse Railwegen", vierde projectnotitie van Bureau "Save" (ref. nr.: 92113-324 d.d. 21 februari 1992) zijn door de N.V. Nederlandse Spoorwegen gegevens verstrekt betreffende het aantal branden in rollend materieel. Het aantal branden wordt gesteld op 62 per jaar.

Nagegaan is onderstaande verdeling:

- 50% van de branden is voorgekomen in reizigersmaterieel met elektrische tractie;
- 12% van de branden kwam voor in reizigersmaterieel met dieselelektrische tractie;
- 14% van de branden kwam voor in getrokken reizigersmaterieel;
- 8% van de branden kwam voor in locomotieven met elektrische tractie;
- 6% van de branden kwam voor in locomotieven met dieselelektrische tractie en
- 10% van de branden is voorgekomen in goederenwagens.

Voor verdere berekeningen wordt in het genoemde rapport uitgegaan van gemiddeld 47 branden per jaar.

Dit aantal branden komt redelijk overeen met de waarden gevonden in hoofdstuk 4, waar alleen reizigersmaterieel met elektrische tractie in beschouwing is genomen

Bijlage C.1: Overzicht HSL-Zuid tracé

Bijlage C.2: Planning & procedures HSL-Zuid

Bijlage C.3: Overzicht ongevallen conventioneel spoor

1. Inleiding

Ten behoeve van de afronding van de veiligheidsfilosofie is het noodzakelijk om te beschikken over een eerste invulling van de matrices. Dit overzicht² is samengesteld uit diverse doorsnijdingen van de gegevens uit de database MISOS van Railned Spoorwegveiligheid.

Er is gebruik gemaakt van een redelijk representatief deel van de data. Het betreft hier de voorvallen in de jaren 1981 t/m 1990; "conventioneel" treinverkeer, reizigers en goederen!

2. Definities

2.1 botsing / aanrijdingen (intern)

Onder "botsingen / aanrijdingen (intern)" wordt o.a. verstaan:

- botsing van twee treinen frontaal
- botsing van twee treinen in de flank
- botsing van twee treinen achterop
- botsingen van rangeerdelen
- aanrijdingen van treinen / rangeerdelen met dienstauto's, stootjukkens e.d.

2.2 ontsporingen

Onder "ontsporingen" wordt verstaan het niet meer door de spoorstaven geleiden / dragen van

- reizigerstreinen
- goederentreinen
- rangeerdelen
- werktreinen, bijzondere railvoertuigen e.d.

2.3 stoptonend sein

Onder "stoptonend sein" wordt verstaan het doorgaans onbedoeld passeren van een rood tonend sein door:

- reizigerstreinen
- goederentreinen
- rangeerdelen
- werktreinen, bijzondere railvoertuigen e.d.

2.4 werkzaamheden aan de infrastructuur

Onder "werkzaamheden aan de infrastructuur" worden voorvallen verstaan die zich hebben voorgedaan tijdens werkzaamheden aan de infrastructuur, zoals:

- aanrijdingen van personeel
- aanrijdingen van materieel / bijzondere voertuigen
- schade t.g.v. voorwerpen binnen / buiten profiel van vrije ruimte
- bijna aanrijdingen e.d.

2.5 overweg-zaken

Onder "overweg-zaken" worden voorvallen verstaan die betrekking hebben op:

- aanrijdingen van treinen met wegverkeer
- aanrijdingen van rangeerdelen met wegverkeer
- het niet werken van overwegen
- wegverkeer rijdt tegen overweginstallaties aan e.d.

2.6 ten onrechte berijden van sporen

Onder "ten onrechte berijden van sporen" wordt o.a. verstaan:

- treinen die ten onrechte buiten-dienst-gestelde sporen berijden
- treinen of rangeerdelen die ten onrechte op bezette sporen rijden
- het ten onrechte berijden van gestoorde overwegen e.d.

2.7 persoonlijke ongevallen

Onder "persoonlijke ongevallen" wordt o.a. verstaan:

- het vallen uit rijdende treinen (reizigers en personeel)
- incidenten bij in- en uitstappen
- "overige" ongevallen personeel
- reizigers tussen trein en perronwand
- bijna aanrijdingen reizigers / personeel e.d.

2.8 incidentele onregelmatigheden

Onder "incidentele onregelmatigheden" wordt o.a. verstaan:

- het openrijden van wissels
- veiligheidsstoringen aan de ATB (Automatische Trein Beïnvloeding) van zowel baan als treinmaterieel
- niet of onvoldoende remwerking van treinen of rangeerdelen
- het verliezen van lading
- het vertrekken zonder remproef
- spontane ontkoppeling van materieel e.d.

2.9 overige voorvallen

Onder "overige voorvallen" worden incidenten met relatief geringe gevolgen verstaan, die niet in één van de andere categoriën onder te brengen zijn.

3. Totaal overzicht

Onderstaand totaal overzicht geeft in procenten weer het falen van de diverse subsystemen gegeven een incident. De doorsnede uit MISOS betreft in totaal 3.496 voorvallen.

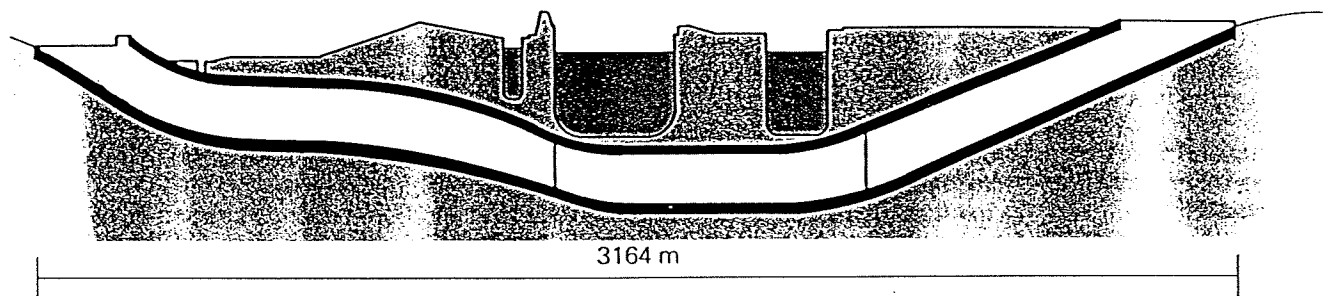
	infrastruc- tuur	rollend materieel	verkeers- leiding	beveiliging trein & baan	proces- voering	derden	overigen	TOTAAL
botsingen / aanrijdingen	0,082	0,574	2,624	0,328	12,628	0,033	0,131	16,4%
ontsporingen	0,684	1,14	1,292	0,057	3,572	0,342	0,513	7,6%
stoptonend sein	0,166	0,790	2,454	0,374	37,44	0,029	0,333	41,6%
werkzaam- heden infra	0,027	0,027	0,864	0,027	4,266	0,140	0,049	5,4%
overweg- zaken	0,053	0,0	0,826	1,062	2,655	1,003	0,301	5,9%
ten onrechte berijden van sporen	0,000	0,056	4,216	0,372	1,463	0,000	0,093	6,2%
persoonlijke ongevallen	0,000	0,115	0,115	0,000	1,375	0,523	0,373	2,5%
incidentele onregelmatig- heden	0,085	1,708	1,220	1,562	3,501	0,427	3,966	12,2%
overige voorvallen	0,000	0,253	0,315	0,230	0,713	0,253	0,536	2,3%
TOTAAL	1,10	4,66	13,93	4,01	67,61	2,75	6,300	100%

1 Willemspoortunnel

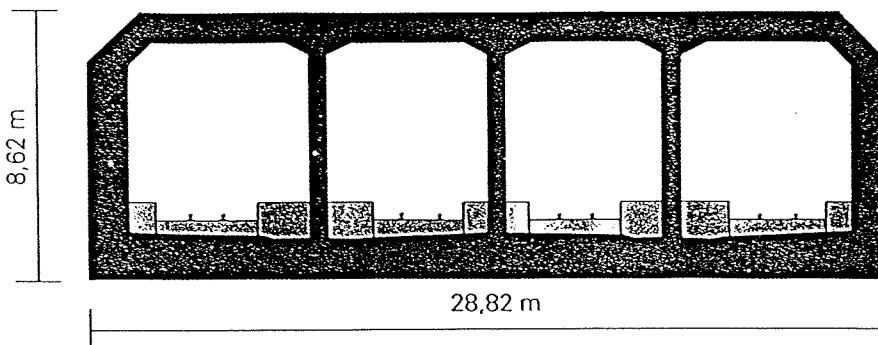
De Nederlandse Spoorwegen hebben een toekomstplan opgesteld om een wezenlijke bijdrage te leveren aan de bereikbaarheid en de leefbaarheid van ons land. Dit plan, Rail 21, voorziet in meer en betere treinen en goede overstapstations voor alle vormen van openbaar vervoer. De Willemspoortunnel in Rotterdam is één van de onderdelen die is gerealiseerd ten behoeve van Rail 21.

1.1 Projectomschrijving

Vanaf april 1987 is 9 jaar gebouwd aan de nieuwe spoorverbinding van het Centraal Station in Rotterdam in zuidelijke richting. Het totale project heeft een lengte van 3.164 meter en bestaat uit een aaneenschakeling van hellende en horizontaal en/of verticaal gebogen gedeelten (zie figuur 1). [Stikma, 1992]



Figuur 1: Lengtedoorsnede Willemspoortunnel



Figuur 2: Dwarsdoorsnede Willemspoortunnel

De tunnel heeft vier sporen en is uitwendig gemiddeld 28 meter breed en 8,60 meter hoog (zie figuur 2). De sporen zijn onderling gescheiden door betonnen tussenwanden. De buitenste kokers zijn inwendig iets ruimer geconstrueerd waardoor deze ook geschikt zijn voor goederentreinen. De binnenste kokers zijn uitsluitend voor reizigerstreinen. De tunnel is in drie deelprojecten op te splitsen:

- Tunneldeel op de rechter Maasoever; Centraal Station - Maasboulevard; open bouwputmethode
- Passage van de Nieuwe Maas; het Noordereiland en de Koningshaven; afgezonken tunnel
- Tunneldeel op de linker Maasoever; open bouwputmethode

In het tracé op de rechter Maasoever is een ondergronds station opgenomen; Station Blaak. In aansluiting op het bestaande metrostation Blaak is een ondergronds spoorstation geconstrueerd. Een gecombineerd station is ontstaan met bovengronds de tram en ondergronds de metro en de trein.

Bijlage D.0 Analyse veiligheid Willemspoortunnel

1	Willemspoortunnel	2
1.1	Projectomschrijving	2
1.2	Veiligheidsconcept	3
1.2.1	Betrokken partijen	3
1.2.2	Topeisen	3
1.2.3	Externe veiligheid	4
1.3	Veiligheidsmaatregelen	4
1.3.1	Preventieve bouwkundige en technische voorzieningen	4
1.3.2	Preventieve gebruiksvoorschriften	6
1.3.3	Vorbereiding en organisatie van incidentenbestrijding en hulpverlening	6
1.4	Analyse veiligheid; een kritische beschouwing	9

Een systematische afweging van de verschillende concepten en maatregelen op basis van veiligheids-overwegingen heeft nooit plaats gevonden. [Koppenjan, februari 1997] Hulpverlenende instanties zijn in deze fase van de besluitvorming niet bij het proces betrokken geweest.

In het "Veiligheidsplan Spoortunnel Rotterdam" zijn de hoofdlijnen van de veiligheidsfilosofie gepresenteerd aan de bevolking. De hoofdlijnen gepresenteerd door de Nederlandse Spoorwegen zijn als volgt: [NS, november 1993]

- De spoortunnel is voorzien van vele bouwkundige voorzieningen en technische installaties die de kans op een incident bijzonder klein maken.
- De spoortunnel wordt continue bewaakt
- Voor de bestrijding van incidenten zijn zeven bestrijdingsscenario's ontwikkeld.
- Bij een incident vinden gecoördineerde bestrijdingsacties plaats onder leiding van de brandweer.
- Bij invloed van een incident op de omgeving verstrekt de brandweer richtlijnen aan omwonenden.
- In geval van een zeer ernstig ongeval treedt het gemeentelijk rampenplan in werking.

1.2.3 Externe veiligheid

Ten aanzien van externe veiligheid is voor de Willemspoortunnel een aantal studies verricht. TNO heeft onderzocht of een tunnel voor de omgeving een vergelijkbaar veiligheidsniveau heeft met een openbakconstructie. De TNO-studie stelt dat de tunnel veiliger is dan een bovengronds alternatief. Deze conclusie komt voort uit de veronderstelling dat het vervoer van gevaarlijke stoffen overwegend 's nachts plaatsvindt. 's Nachts zijn slechts weinig mensen aanwezig in de tunnel en bovendien heeft een ongeluk in een tunnel relatief weinig gevolgen op maaiveldniveau. [TNO, oktober 1982]

1.3 Veiligheidsmaatregelen

De uiteindelijke veiligheidsmaatregelen zijn onderverdeeld in drie categorieën:

1. Preventieve bouwkundige en technische voorzieningen
2. Preventieve gebruiksvoorschriften
3. Voorbereiding en organisatie van incidentenbestrijding en hulpverlening

Bovenstaande onderverdeling van de veiligheidsmaatregelen wordt in onderstaande subparagrafen nader uitgewerkt en is vergelijkbaar met de veiligheidsketen (zie deelrapport I, paragraaf 3.2.2).

1.3.1 Preventieve bouwkundige en technische voorzieningen

Deze voorzieningen zijn gericht op het voorkomen van ongelukken en op het beperken en bestrijden van de gevolgen. [Koppenjan, februari 1997]

Spoorbeveiliging: In de tunnel zijn geen wissels aangebracht. De beveiliging in de tunnel bestaat uit een automatisch blokstelsel met lichtseinen, gecombineerd met het Automatische Trein Beïnvloedingsstelsel.

Ontsporingvoorziening: Ter voorkoming dat ontspoord materieel klem rijdt of kantelt zijn alle sporen van betonnen geleidebalken voorzien.

Gescheiden tunnelbuizen: Tussenwanden tussen de vier sporen voorkomen dat een gekantelde wagon op het nevenspoor terecht komt en zorgen tevens voor een scheiding van rook en gas. In geval van een calamiteit kunnen reizigers en hulpverleners gebruik maken van de andere tunnelbuizen. De tunnel bestaat uit twee buizenparen die van elkaar gescheiden zijn door een betonnen binnenwand met brandwerende stalen nooddeuren om de 300 meter. Een buizenpaar bestaat uit twee onderling gescheiden buizen die

1.2 Veiligheidsconcept

In het ontwerp van de Willemspoortunnel is geëist dat de tunnel alle functies van het oorspronkelijke spoor door het centrum kan vervullen. Dit houdt in dat naast het reizigerstransport ook al het goederen-transport door de tunnel plaats moet vinden. Beide typen transport stellen conflicterende eisen:

- Reizigerstransport stelt de eis dat de tunnelbuizen van elkaar gescheiden zijn.
- Voldoende vlucht- en toetredingsmogelijkheden naar andere buizen of de buitenwereld moeten aanwezig zijn voor reizigers en hulpverleners.
- Vervoer van gevaarlijke stoffen ondergronds vraagt om een gesloten tunnelbuis, waarbij een eventueel ongeluk als een 'contained accident' kan worden afgehandeld.
- Een ondergronds station vereist ruime verbindingen tussen de buizen en de buitenwereld voor de overstapfunctie, in verband met aërodynamica en sociale veiligheid.
- De tunnel vormt tevens een onderdeel van de hoofdwaterkering.

Gedurende het besluitvormingsproces is een aantal veiligheidsmaatregelen overwogen en vervolgens weer verworpen. Een voorbeeld is het niet dragend uitvoeren van de buitenste tussenwanden ten behoeve van explosiebestendigheid.

1.2.1 Betrokken partijen

In het gehele ontwerp- en bouwproces van de Willemspoortunnel is een groot aantal betrokken partijen met verschillende belangen te onderscheiden. Per stakeholder wordt aangegeven wat de achterliggende belangen zijn en/of de rol in het totale project. De verschillende stakeholders voor de Willemspoortunnel zijn:

- Nederlandse Spoorwegen: Behoeftte aan een nieuwe railverbinding op basis van capaciteitsoverwegingen
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Financiering van het project
- Gemeente Rotterdam: Verlenen van de bouwvergunning en planologische inpassing van de tunnel (aanpassing bestemmingsplan)
- Rotterdamse brandweer: Adviserende rol richting Gemeentebestuur bij vergunningsverlening
- Aannemerscombinatie: Uitvoering bouwactiviteiten
- Waterhuishoudingsautoriteiten: Verlening van vergunningen
- Architecten: Aandragen van nieuwe alternatieven
- Bewonersorganisatie Feijenoord (BOF): Bewaking van de belangen van de omgeving
- Tweede Kamer: Besluitvorming
- Bouwdienst Rijkswaterstaat: Engineering van het project
- Rijkswaterstaat: Verlenen toestemming voor het vervoer van gevaarlijke stoffen
- Spoorwegveiligheid NS: Bewaken veiligheid van passagiers en personeel en de continuïteit van de bedrijfsvoering

1.2.2 Topeisen

Voor de veiligheidsbenadering bij de bouw van de Willemspoortunnel is door de NS in 1981 een aantal uitgangspunten geformuleerd. Het veiligheidsniveau van de tunnel moet vergelijkbaar zijn met vliegverkeer en moet alle functies van het bestaande spoor overnemen, inclusief het vervoer van gevaarlijke stoffen. Naar aanleiding van een kwalitatieve analyse van TNO is genoeg genomen met de constatering dat de tunnel veiliger is ten opzichte van de bestaande situatie. Deze constatering vond plaats op basis van een kwalitatieve analyse, waarbij de verschillende risico's gering geacht zijn, zonder enige mate van kwantificering. [TNO, oktober 1982]

Overige technische voorzieningen: De tunnel beschikt verder over noodaggregaten, verlichting, vlucht-wegaanduiding, een gasdetectiesysteem, een detectiesysteem met betrekking tot de nooddeuren, een detectiesysteem voor eventuele aanwezigheid van personen in de tunnel, een automatische brandmeldinstallatie, handbrandmelders, een verbindings- en communicatiesysteem en een systeem om de bovenleiding uit te schakelen en te aarden.

1.3.2 Preventieve gebruiksvoorschriften

Analoog aan het regime van de Hemspoortunnel wordt voor het gebruik van de Willemspoortunnel een veiligheidsregime gehanteerd dat de volgende preventieve gebruiksvoorschriften kent: [Koppenjan, februari 1997]

- Om de gevolgen te verkleinen van het afbreken en teruglopen van een deel van een goederentrein, is het instellen van een rijweg achter een goederentrein pas mogelijk als de helling gepasseerd is.
- Een passagierstrein en een goederentrein met gevaarlijke stoffen mogen nimmer gelijk gebruik maken van hetzelfde spoor in de tunnel.
- Tijdens de spits maken goederentreinen geen gebruik van de tunnel. Om de veiligheidseffecten voor personen in de tunnel te minimaliseren is de dienstregeling van de NS zo opgesteld dat het meeste goederenvervoer 's nachts plaatsvindt.
- Alle gebruiksinstructies van de normale bedrijfsvoering zijn opgenomen in het calamiteitenplan voor de Willemspoortunnel van de NS.

1.3.3 Voorbereiding en organisatie van incidentenbestrijding en hulpverlening

De onderstaande maatregelen zijn gericht op de voorbereiding van een gezamenlijk optreden van alle organisaties bij een incident. Een aantal scenario's is opgesteld, waarbij zoveel mogelijk is aangesloten op bestaande regelingen. Duidelijke afspraken zijn gemaakt over de verschillende verantwoordelijkheden en het optreden in de tunnel.

Organisatie van de incidentenbestrijding: Als beheerder en gebruiker zijn de Nederlandse Spoorwegen verantwoordelijk voor de gehele interne organisatie. In plaats van een eigen incidentenbestrijdingsorganisatie wordt een beroep gedaan op gemeentelijke diensten zoals de brandweer. In de wederzijdse calamiteitenplannen is deze samenwerking procedureel vastgelegd. Indien een calamiteit zich voordoet, coördineert de brandweer het optreden van alle overheidsdiensten. Alle activiteiten van de NS zijn hieraan ondergeschikt. In de tunnel wordt altijd opgetreden wanneer personen bij het incident betrokken zijn. Bij incidenten met gevaarlijke stoffen wordt de situatie in de tunnel gestabiliseerd op het voorkomen van schadelijke effecten buiten de tunnel. Zolang mensen moeten worden gered of gevaar dreigt voor de omgeving hebben korte termijn overwegingen voorrang op lange termijn overwegingen zoals schade aan de tunnel, kosten en aansprakelijkheid.

Bestrijdingsscenario's: Ten behoeve van incidentenbestrijding in de tunnel zijn in totaal 7 scenario's uitgewerkt. Deze scenario's vormen de basis voor het optreden in de tunnel waarbij gezamenlijk optreden van de NS en overheidsdiensten noodzakelijk is. [NS, november 1993]

Basisplan bestrijdingsscenario's:

Het basisplan voor alle calamiteiten is gelijk. In alle gevallen alarmeert de treindienstleiding van de tunnel onmiddellijk de centrale meldkamer in Utrecht. In Utrecht is binnen enkele seconden bekend om welke trein het gaat, wat de lading is en welke hulpvoorzieningen noodzakelijk zijn. Dertig seconden later zijn de brandweer, politie en GGD op de hoogte. De inmiddels gealarmeerde verkeersleiding op Rotterdam

met openingen om de 150 meter met elkaar in verbinding staan. De onderhoudspaden die in elke buis aanwezig zijn, vormen de vluchtwegen.

In het Station Blaak is de middenwand voorzien van ronde openingen en zijn de buitenwanden vervangen door kolommen. Dit is gedaan ten gunste van de sociale veiligheid en aërodynamische aspecten.

Materialen: Ter voorkoming van brand zijn de tunnelbuizen glad afgewerkt en is gebruik gemaakt van brandwerend materiaal, bijvoorbeeld bij de verbinding van de tunnelementen. Beveiliging van de tunnel tegen explosies is uit economisch en technisch oogpunt niet haalbaar gebleken.

Vlucht- en toegangswegen: De brandweer stelde de eis van een maximale toetredingsafstand van 500 meter in verband met de mogelijkheid van repressief optreden. In het Station Blaak bevinden zich aan beide zijden nooduitgangen. Aan beide uiteinden van de tunnel, ter hoogte van de Maasboulevard (Noord) en van de Steven Hoogendijkstraat (Zuid), zijn tevens nooduitgangen geconstrueerd. Dit resulteert in een langste afstand van 1.100 meter tussen de nooduitgangen. De maximale vluchtafstand wordt hierdoor 550 meter. In de trappenhuizen van de nooduitgangen is extra verlichting aangebracht en alle nooddeuren zijn voorzien van een panieksluiting, zodat zij op ieder gewenst moment van binnenuit kunnen worden geopend.

Bedieningscentrum Station Blaak: In het midden van de tunnel, in Station Blaak, zijn alle centrale voorzieningen ondergebracht, alsmede een bedieningscentrum. Een tweede bedieningscentrum bevindt zich bij de treindienstleiding (verkeersleidings-post Rotterdam C.S.). Vanuit dit bedieningscentrum wordt het gehele treinverkeer voor de stad en de tunnel geregeld.

Ventilatie: In verband met de aanwezigheid van diesellocomotieven in de tunnel is een ventilatiesysteem aanwezig. Bij een calamiteit moet het ventilatiesysteem de gas- en rookstromen beheersen. Bij Station Blaak is het systeem van gescheiden tunnelbuizen onderbroken. Het ventilatiesysteem is ontworpen om het Station Blaak rookvrij te houden. Zodra een trein in een van de buizen stilstaat wordt de ventilatie automatisch gestart en wordt vanuit Station Blaak verse lucht aangezogen. In beide tunnelbuizen wordt in de richting van de uitgangen geventileerd (detectie d.m.v. spoorbezettingssignalering). Vanuit de bedieningscentra kan de ventilatie tevens handmatig ingeschakeld worden en vanuit Station Blaak kan de ventilatierichting en de ventilatiekracht geregeld worden.

Gasdetectie: Gasdetectoren zetten de ventilatoren in werking zodra een explosief mengsel wordt gemeten van 10 procent van het L.E.L. (Lower Explosion Limit).

Waterkering: De tunnel doorsnijdt de hoofdwaterkering van de rechter Maasoever. In de tunnel is daarom een waterkering aangebracht die bestaat uit vier schuiven. De schuiven zijn onderdeel van de spoorbeveiliging van de tunnel, waardoor voorkomen wordt dat de schuiven gesloten worden terwijl de sporen nog niet vrij zijn. De treindienstleider van de NS beslist wanneer de kering veilig gebruikt kan worden.

Brandblussysteem: Over de gehele lengte is de tunnel voorzien van brandblusleidingen. Deze leidingen zijn aangebracht in goten onder de looppaden aan de buitenzijde van de tussenwanden en onder de perons. Bij een calamiteit moet de gehele installatie binnen 15 minuten op bedrijfsdruk zijn. De installatie kan met de hand gestart worden vanuit de VL-post Rotterdam C.S., de bedieningsruimte in Station Blaak en de brandpompenruimte bij de Wijnhaven. Bij alle toegangen van de tunnel zijn draagbare blustoestellen en een slanghaspel aangebracht. Tevens is bij iedere toegang in de trappenhuizen een speciale lorrie geplaatst, waarop aanwezige brandbestrijdingsmiddelen over het spoor naar de brandhaard vervoerd kunnen worden.

Bestrijdingsscenario 5: *In een stilstaande trein breekt brand uit, waarbij gevaarlijke stoffen aanwezig zijn.*

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de treindienstleiding alarmeert onmiddellijk de brandweer
- de toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- alle treinen worden uit alle tunnelbuizen gehaald
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- de blusinstallaties worden gestart
- Station Blaak wordt ontruimd
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- de tunnelbuizen worden door de brandweer verkend
- de centrale meldkamer verstrekt gegevens aan de hulpverleners
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Bestrijdingsscenario 6: *Een gasalarm in de tunnel*

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- alle treinen worden uit de tunnelbuizen gehaald
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- de blusinstallaties worden gestart
- Station Blaak wordt ontruimd
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- de tunnelbuizen worden door een speciaal team van de brandweer verkend om de verspreiding en de concentratie van de gevaarlijke stoffen vast te stellen en de bestrijdingsmethode te bepalen.
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Bestrijdingsscenario 7: *Water stroomt de tunnel in.*

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- alle treinen worden uit de tunnelbuizen gehaald
- de waterkeringschuiten onder de Maasboulevard zakken automatisch naar beneden zodra het waterpeil een bepaalde kritische hoogte heeft bereikt.
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- Station Blaak wordt ontruimd
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- de brandweer verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Plannen en procedures: De verschillende scenario's zijn door de betrokken organisaties in de volgende plannen nader uitgewerkt:

- Het rampenplan van de Gemeente Rotterdam, waarin de bevoegdheden tussen de instanties worden geregeld.
- Calamiteitenplan Willemspoortunnel NS
- Ontruimingsplan Station Blaak van NS en van RET
- Het aanvalsplan van de Gemeentelijke Brandweer Rotterdam, met de procedures van de brandweer.
- Het basis-rampbestrijdingsplan van de Gemeente Rotterdam, met daarin de verschillende deelplannen voor operationele diensten en ook de verschillende standaard bestrijdingsscenario's.

Centraal Station zorgt dat geen enkele trein meer de tunnel inrijdt. De treindienstleiding start vervolgens de eerste praktische maatregelen in de tunnel zelf.

Bestrijdingsscenario 1: Een reizigers- of goederentrein ontspoord of botst tegen een voorgaande trein, waarbij de goederentrein geen gevaarlijke stoffen vervoert.

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- indien nodig wordt Station Blaak ontruimd
- NS waarschuwt de treindienstleider van de metro
- NS dirigeert de hulpverleners
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Bestrijdingsscenario 2: Een trein ontspoord of botst tegen een voorgaande trein, of een goederentrein staat stil in de tunnel, waarbij gevaarlijk stoffen vrijkomen.

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- alle toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- Station Blaak wordt ontruimd
- de tunnelbuizen worden door een speciaal team van de brandweer verkend om de verspreiding en de concentratie van de gevaarlijke stoffen vast te stellen en de bestrijdingsmethode te bepalen
- de centrale meldkamer verstrekt gegevens aan de hulpverleners
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Bestrijdingsscenario 3: In een stilstaande trein breekt brand uit.

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de treindienstleiding alarmeert de brandweer
- alle toeleidende seinen van de tunnel gaan op rood
- de bovenleiding wordt uitgeschakeld en geaard
- de blusinstallaties worden gestart
- de ventilatie wordt meteen ingeschakeld
- op verzoek van de brandweer worden de nooddeuren ontgrendeld
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

Bestrijdingsscenario 4: In een rijdende trein breekt brand uit.

- de treindienstleiding zet het basisplan in werking
- de treindienstleiding alarmeert de brandweer
- de trein rijdt indien mogelijk door tot buiten de tunnel
- de blusinstallaties worden gestart
- de ventilatie wordt meteen ingeschakeld
- de brandweer bestrijdt het incident, verleent hulp en coördineert alle verdere acties van NS, politie en GGD

De procedure voor de treinmachinist vereist om zolang mogelijk door te rijden in geval een calamiteit optreedt. De gedachte hierbij is dat de gevolgen van een incident minder groot zijn wanneer de trein de tunnel weer uit komt. In treinen die door de Willemspoortunnel rijden is echter geen noodremoverbrugging opgenomen. De kans dat de trein bij een calamiteit de tunnel uitkomt is niet heel groot als een reiziger de noodrem activeert.

Opleiding en oefening: Oefeningen in de tunnel kunnen slechts voor een beperkte groep mensen worden georganiseerd. De tunnel is dag en nacht in gebruik en wordt slechts incidenteel voor onderhouds- en controlewerkzaamheden buiten gebruik gesteld. De vier kazernes die direct bij de inzet in de tunnel betrokken kunnen worden, moeten op de hoogte zijn van de verschillende procedures. Incidenten in de spoortunnel worden meegenomen in de jaarlijkse oefeningen van het Commando Plaats Incident.

Repressieve maatregelen: Bij een melding vanuit de Willemspoortunnel komen drie eenheden in actie:

- Twee tankautospuiten rijden naar de door de spoorwegen opgegeven toegangen voor het betreffende spoor, zodat het ongeval van beide zijden kan worden benaderd.
- Een tankautospuit en de officier van dienst zorgen voor de bezetting van de commandoruimte in Station Blaak.
- Bij een melding waarbij mogelijk gevaarlijke stoffen zijn betrokken worden twee meetploegen gearmeerd voor het verrichten van gasmetingen nabij Pompenburg en de Dwarsstraat. De chemische adviseur wordt hierbij tevens ingeschakeld.

1.4 Analyse veiligheid; een kritische beschouwing

De Willemspoortunnel is vanwege de lengte en de situering door de stadskern van Rotterdam een uniek project. De tunnel neemt al het Noord/Zuid treinverkeer voor haar rekening, zowel goederen als reizigers. Tijdens de eerste fase van het ontwerp-proces lijkt het risico voor reizigers een ondergeschikte rol gespeeld te hebben. Veel aandacht werd gegeven aan het externe risico in de vorm van een vergelijking tussen een tunnel en een bovengrondse spoorbaan. De omwonenden maakten zich ongerust over effecten van vrijkomende giftige gaswolken, met name bij station Blaak en de uiteinden van de tunnel. In een latere fase is meer aandacht gekomen voor ook de veiligheid van de reizigers en het personeel.

Het grote scala aan veiligheidsvoorzieningen toont een maximale investering in bouwkundige en technische voorzieningen en maatregelen. Een accent is gelegd op de technische preventie van ongelukken. Een volledig computergestuurd bedieningssysteem is ontstaan waarop menselijk handelen weinig of geen invloed heeft. Wanneer daadwerkelijk een incident in de tunnel plaatsvindt, wordt overgeschakeld op handbediening en wordt de crisisbeheersingsorganisatie opgestart voor de afhandeling van het incident. Deze overschakeling op handbediening bij een calamiteit neemt een groot risico met zich mee. Menselijk handelen blijkt in crisissituaties niet altijd even betrouwbaar.

De combinatie van goederen- en reizigerstransport vereist in geval van calamiteiten een grotere complexiteit in vergelijking tot alleen reizigerstransport. De introductie van een aantal noodscenario's voor verschillende typen calamiteiten lijkt logisch, maar neemt een grote mate van onduidelijkheid en potentiële kans op chaos met zich mee. De ideale situatie is een eenduidig plan van handelen om het hoofddoel te bereiken. Het hoofddoel kan dan bijvoorbeeld zijn: Het isoleren van het incident door de tunnel af te sluiten en de reizigers te verwijderen.

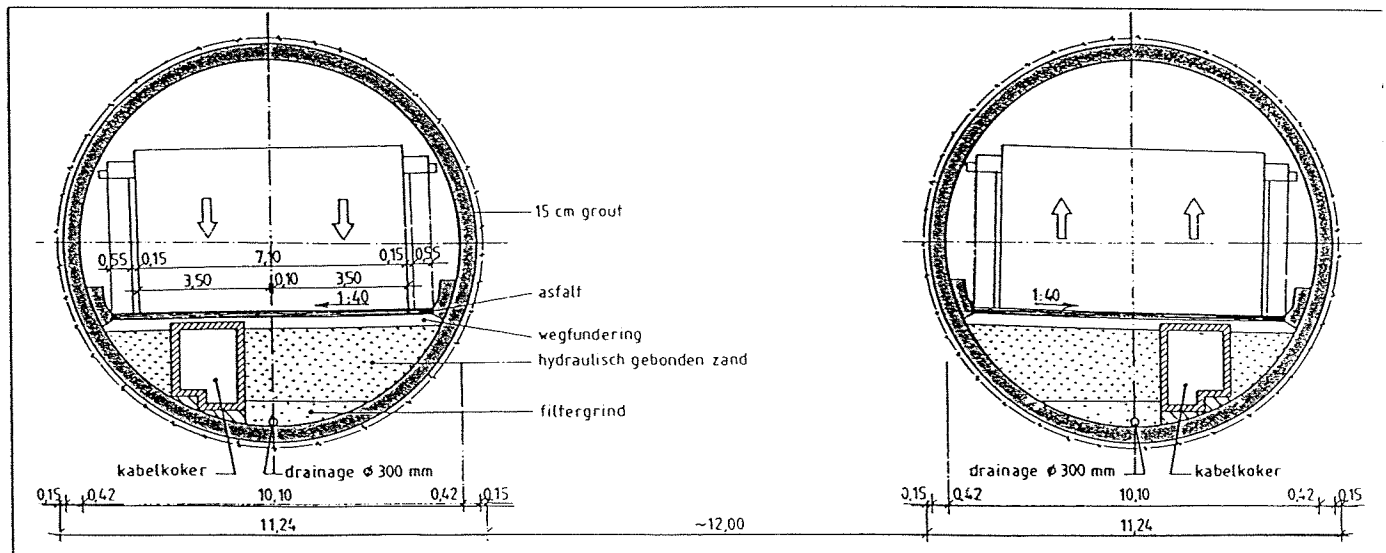
De zeven ontwikkelde noodscenario's zijn optimaal effectief bij de verschillende calamiteiten, echter de vereiste methode van handelen is telkens weer verschillend. Na de opening van de tunnel heeft nog geen enkel incident plaatsgevonden. De schakels in de veiligheidsketen na de preventiefase zijn nog niet beproefd. Dit vermindert de aandacht voor de incidentenbestrijding. Het gevaar bestaat dat een verkeerde aanpak van de incidentenbestrijding bijdraagt aan een escalatie van het ongeval. Dit benadrukt nogmaals dat een eenduidige manier van handelen bij verschillende noodsituaties de maximale effectieve hulpverlening kan opleveren. Dit is bij transport van reizigers makkelijker te bereiken dan bij een gecombineerd transport van reizigers en goederen.

1 Westerschelde Oeververbinding

1.1 Projectomschrijving

Op 28 juni 1996 is de overeenkomst getekend tussen de opdrachtgever en de aannemer van de Westerschelde Oeververbinding (WOV). De bouw is op 15 november 1997 gestart met de constructie van de in- en uitritten van de tunnel. In februari 1999 zullen de boormachines met hun graafwerk beginnen zodat in november 2002 de eerste auto's kunnen rijden.

De Westerschelde Oeververbinding bestaat uit twee tunnelbuizen voor gemotoriseerd verkeer met een inwendige diameter van 10,10 meter. De twee tunnelbuizen, met een totale lengte van 6.600 meter, lopen parallel met een onderlinge afstand van 12 meter (zie figuur 1 & 2). De tunnel wordt uitgevoerd als autosnelweg. Elke tunnelbuis bevat twee rijstroken van 3,50 meter breed met aan weerszijden redresseerstroken en betonnen geleideprofielen. De toeleidende wegen worden voor het grootste deel als enkelbaans autoweg uitgevoerd. Het ontwerp houdt rekening met een mogelijke toekomstige uitbouw tot autosnelweg. [Cement, oktober 1996]



Figuur 1: Dwarsdoorsnede boortunnel Westerschelde Oeververbinding

1.2 Veiligheid in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding

In deze paragraaf wordt de inpassing van de veiligheid in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding geanalyseerd. Als eerste wordt de ontwikkeling van het veiligheidsdenken weergegeven waarna de gehanteerde filosofie wordt weergegeven. Vervolgens wordt de functie van de verschillende veiligheidsmaatregelen geanalyseerd, waarbij ook aandacht wordt geschonken aan de onderlinge afweging.

Bijlage E.0: Analyse veiligheid Westerschelde Oeververbinding

1	Westerschelde Oeververbinding	2
1.1	Projectomschrijving	2
1.2	Veiligheid in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding	2
1.2.1	Ontwikkeling veiligheid in het ontwerp	3
1.2.2	Veiligheidsfilosofie	4
1.2.3	Beoordeling van veiligheid	5
1.2.4	Afwegen van veiligheidsmaatregelen	6
1.3	Veiligheidsmaatregelen Westerschelde Oeververbinding	6
1.4	Analyse veiligheid WOV; een kritische beschouwing	8

len in een vergevorderd stadium van het ontwerp van de Westerscheldetunnel. Deze visie vereist een aantal aanpassingen in het ontwerp. Het aantal dwarsverbindingen verdubbelt tot een onderlinge afstand van 250 meter en tevens wordt een extra hittewerende bekleding toegevoegd. Deze twee maatregelen kosten respectievelijk 61,3 en 35,4 miljoen. [Lloyd's Register, februari 1997] & [Lloyd's Register, april 1997]

1.2.2 Veiligheidsfilosofie

Voor de veiligheid in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding is door de Bouwdienst Rijkswaterstaat in het begin van 1997 een veiligheidsfilosofie opgesteld, vergelijkbaar met de veiligheidsfilosofie van de HSL-Zuid. Voor de veiligheid van de gebruiker wordt een tweetal risiconiveaus onderscheiden, het persoonlijk risiconiveau en het maatschappelijke risiconiveau. Het maatschappelijke risiconiveau wordt uitgedrukt in de Karakteristieke Waarde. De verschillende acceptabele risiconiveaus zijn weergegeven in figuur 3. [Lloyd's Register, februari 1997]

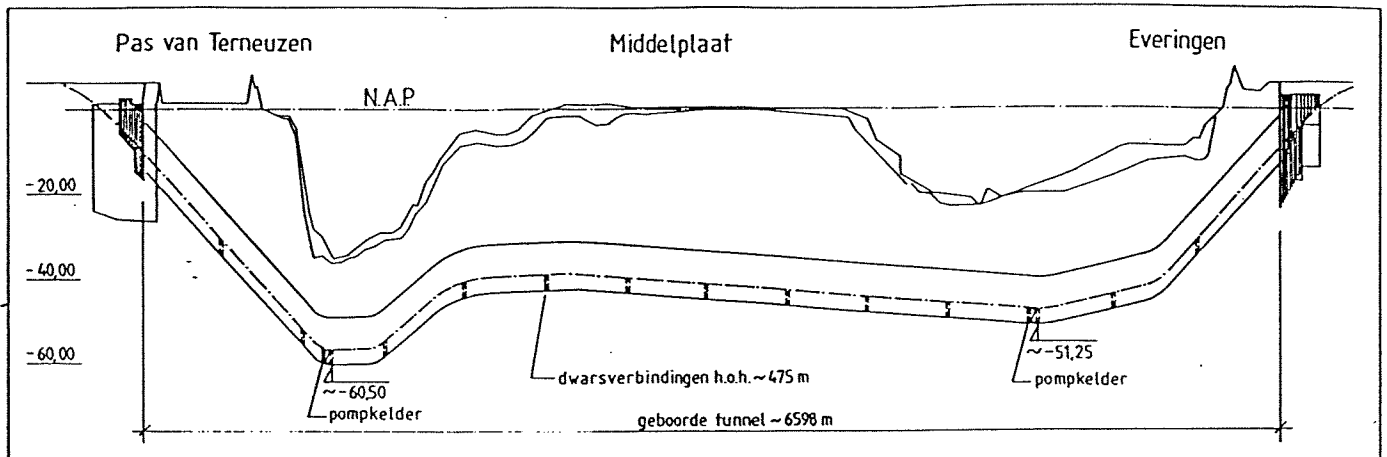
Risicodrager	Acceptabel risiconiveau		
	Persoonlijk [kans/persoon/jaar]	Maatschappelijk [doden/jaar]	
		Gemiddeld	Totaal Risico
Reizigers	10^{-4} à 10^{-5}	0.63	4
Personeel	$1 \cdot 10^{-4}$		
Omwonenden	$1 \cdot 10^{-6}$		
Hulpverleners	$1 \cdot 10^{-4}$		
Overigen	$1 \cdot 10^{-6}$		

Figuur 3: Aanvaardbare risiconiveaus Westerschelde Oeververbinding

De veiligheidsfilosofie is in aansluiting op de maatschappelijke beleving met name gericht op het voorkomen van ongevallen en in tweede instantie op het beperken van de gevolgen van een ongeval/calamiteit. De veiligheidsketenbenadering wordt toegepast van preventief naar repressief. Primair is een intrinsiek veilig ontwerp, secundair is het uitvoeren van veiligheidstaken door veilige systemen en tertiair zijn de procedures en backup door mensen.

De Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel hanteert de veiligheidsfilosofie als basis om binnen het ontwerpproces en op beleidsniveau beslissingen te nemen t.a.v. veiligheid. [Lloyd's Register, februari 1997] Deze commissie hanteert een aantal uitgangspunten voor een voldoende veilig ontwerp:

- Voor weggebruikers mag het totale risico om slachtoffer te worden van een ongeval in de tunnel niet groter zijn dan buiten de tunnel. De gevolgen van een incident in een tunnel zijn complexer en groter dan van een incident buiten de tunnel. Deze doelstelling zal dan ook bereikt moeten worden door een reductie van de kans van optreden en een maximalisatie van de mogelijkheden voor zelfredzaamheid.
- De constructieve integriteit van de tunnel mag niet in gevaar komen ten gevolge van een maatgevend scenario voor de twee risiconiveaus.
- Het aanvullend toepassen van probabilistische en deterministische methoden is van groot belang.
- De normering van veiligheid mag geen relatie hebben met economische haalbaarheid. In de ALARA-afweging moet primair het veiligheidsniveau centraal staan, tot een niveau dat bepaald wordt door de resultaten van de deterministische scenario-analyses.



Figuur 2: Lengteprofiel Westerschelde Oeververbinding

1.2.1 Ontwikkeling veiligheid in het ontwerp

In eerste instantie is bij het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding sprake geweest van een afzinktunnel. Op basis van de economische haalbaarheid, een betere inpassing in de omgeving en minder hinder voor de scheepvaart is een ontwerp gemaakt voor een volledig geboorde tunnel. Twee geselecteerde aannemerscombinaties hebben aan de hand van de ontwikkelde randvoorwaarden een aanbieding gedaan.

Na beoordeling en vergelijking van de twee aanbiedingen voor een geboorde tunnel is een vervoltraject gestart met de Combinatie Middelplaat Westerschelde vof (KMW). [Cement, oktober 1996] De aanbieding van KMW bleek als toltunnel financieel niet mogelijk, waarna in het ontwerp gezocht is naar afslankmogelijkheden. Resultaat was een kleinere boordiameter, een geringe besparing bij tunnelinstallaties en een reductie in de hittewerende bekleding. Een aantal veiligheidsmaatregelen in het ontwerp zijn geschrapt op basis van kostenoverwegingen.

In november 1996 heeft de Westerscheldetunnel N.V. i.o. een contra-expertise laten uitvoeren die zich met name richtte op de gewenste afstanden tussen de dwarsverbindingen. Deze contra-expertise is uitgevoerd op basis van twee rapporten, één TNO-rapport in opdracht van het Ministerie van V&W en één rapport van DNV in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken. [AEA Technology, november 1996]

Eén van de conclusies van deze contra-expertise is dat, op basis van het ALARA-principe, de noodzakelijke investering om de dwarsverbindingen om de 250 meter te construeren een factor 200 te hoog is. Het toepassen van een risico-analyse wordt als een bruikbaar instrument gezien, waarna vervolgens de toelaatbaarheid van het restrisico deterministisch geanalyseerd moet worden. In de contra-expertise wordt aanbevolen om een breed raamwerk op te zetten voor besluitvorming over veiligheid bij toekomstige tunnels.

In een latere fase van het project (begin 1997) is opnieuw discussie ontstaan over de principiële vraag of veiligheid in het ontwerp vanuit een deterministische of probabilistische benaderingswijze moet worden benaderd. Deze discussie uit zich in een conflict tussen het Ministerie van Binnenlandse Zaken en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat over de onderlinge afstand tussen de dwarsverbindingen. Een Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel, onder leiding van Prof.ir. E. Horvat, heeft zich over dit conflict gebogen. Resultaat is een vernieuwde visie op veiligheid en de veiligheidsmaatregelen.

1.2.4 Afwegen van veiligheidsmaatregelen

De Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel heeft uiteindelijk aanbevolen om de onderlinge afstand tussen de dwarsverbindingen naar 250 meter te reduceren. De afweging om tot een optimale onderlinge afstand tussen de dwarsverbindingen te komen heeft op basis van een aantal studies plaatsgevonden.

Een studie van TNO heeft twee aanbiedingen voor het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding vergeleken aan de hand van de invloed van de aanwezige veiligheidsvoorzieningen op het veiligheidsrisico. Een ontwerp met dwarsverbindingen om de 100 meter is vergeleken met een ontwerp met dwarsverbindingen om de 500 meter. Berekeningen laten zien dat de maximale schade bepaald wordt door het aantal voertuigen in de tunnel, in combinatie met een vrachtwagenbrand en door een brand van benzine, beide gecombineerd met het niet starten van de ventilatie (zie bijlage E.1 & E.2).

De Deskundigencommissie Westerscheldetunnel heeft beide alternatieven vergeleken en vindt het groepsrisico bij dwarsverbindingen om de 500 meter te hoog (zie bijlage E.2). De onderlinge afstand moet bepaald worden op basis van de beschikbare effectieve tijd voor de hulpverlening, de opvangcapaciteit van de dwarsverbindingen, de afstand tot een veilige plaats bij calamiteiten en de tijd die nodig is om daar te komen (zie bijlage E.3).

De TNO-studie heeft tevens berekend dat een verkleining van de tussendeur-afstand van 500 meter naar 250 meter slechts een geringe invloed heeft op de maximale schade-omvang, een afname van 210 naar 200 slachtoffers. Daarnaast is nagegaan wat de invloed is van stilstanddetectie, gecombineerd met het automatisch stilleggen van het verkeer voor de tunnelingang. Dit levert een reductie van de maximale schade-omvang van 210 naar 125 slachtoffers op bij toepassing van dwarsverbindingen om de 500 meter (zie bijlage E.1 & E.2).

1.3 Veiligheidsmaatregelen Westerschelde Oeververbinding

De veiligheidsmaatregelen, zoals die in het ontwerp zijn opgenomen, zijn gerangschikt aan de hand van de veiligheidsketen. De veiligheidsketen bestaat uit een aantal elementaire onderdelen met als achterliggende gedachte "voorkomen werkt beter dan genezen". De verschillende onderdelen zijn:

- Voorkomen van onveiligheid (pro-actieve fase)
- Verkleinen van de kans op onveiligheid (preventie bij de bron & preventieve correctie)
- Beperken van de gevolgen van onveiligheid (preparatie & repressie)
- Genezing en/of herstel na opgetreden onveiligheidsgevolgen (herstel en nazorg)

Belangrijk voor de ontwikkeling van veiligheid in een systeem is de evaluatie, na afloop van een ongewenste gebeurtenis, waardoor verbeteringen kunnen worden aangebracht.

Pro-actieve fase:

- Tunnelconstructie over de totale breedte van de Westerschelde; Risicofactoren als de groeiende scheepvaart en de weersomstandigheden hebben een kleinere invloed door het opheffen van de veerboten en het toepassen van een tunnel.
- "Duurzaam veilig" op toeleidende wegen; Frontale botsingen zijn nagenoeg onmogelijk door toepassing van een scheiding op de toeleidende wegen, waardoor een sterke reductie van de ongevalskans ontstaat.
- Vervoer van gevaarlijke stoffen; Vervoer van "categorie 2"-stoffen kan zonder restrictie door de tunnel plaats vinden. Vervoer van "categorie 1"-stoffen (ontvlambare stoffen) wordt in konvooi toegestaan, waardoor de kans op botsing met andere voertuigen wordt verkleind.

- Bij probabilistische berekeningen dient niet alleen het aantal doden maar ook het aantal gewonden gekwantificeerd te worden.
- Met mogelijke toekomstige aanpassingen in het gebruik van de tunnel dient rekening gehouden te worden.

1.2.3 Beoordeling van veiligheid

De beoordeling van veiligheid dient volgens de Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel volgens een aantal stappen te verlopen:

- Het formuleren van normwaarden (persoonlijk risico & karakteristieke waarde) voor het minimale veiligheidsniveau, op basis van ongevalsstatistiek van bestaande tunnels.
- Op basis van geïdentificeerde ongevalsscenario's langs probabilistische weg het voor het tunnelontwerp kenmerkende veiligheidsniveau bepalen.
- Het toetsen van het behaalde veiligheidsniveau aan de normen en het eventueel verhogen van het veiligheidsniveau door het treffen van aanvullende maatregelen.
- Langs deterministische weg nader analyseren van scenario's die kritisch zijn voor het minimale veiligheidsniveau, analyseren van scenario's die maatgevend zijn voor de integriteit van de tunnel en analyseren van scenario's die voor het restrisico maatgevend zijn. Essentieel is de beoordeling op zelfredzaamheid en effectieve hulpverlening en de toepassing van de ketenbenadering van preventief naar repressief.
- Inventariseren van maatregelen die voldoen aan het ALARA-principe ter verkleining van het restrisico.
- Kwantificeren van de kosten en het beoogde effect van de verschillende maatregelen ten einde een rationele afweging en een verantwoorde beslissing mogelijk te maken.

Voor de Westerschelde Oeververbinding is een vijftal representatieve scenario's opgesteld en de gevolgen daarvan zijn deterministisch geanalyseerd:

- Scenario 1: Enkelvoudige aanrijding met enkele gevonden (bijv. 4), geen brand
vergelijking met "open veld botsing"
- Scenario 2: Meervoudige aanrijding met gewonden (25 á 30), geen brand
toetsing van evacuatie en hulpverlening
- Scenario 3: Meervoudige aanrijding met brand waarbij enkele auto's of bus betrokken zijn
vergelijking evacuatie en hulpverlening in relatie met maximale verblijfstijd
- Scenario 4: Grote brand waarbij geen hulpverlening op korte termijn mogelijk is
vergelijking zelfredzaamheid in korte tijd (orde maximaal 10 minuten)
- Scenario 5: Extreme brand waarbij redding niet mogelijk is (file in een plasbrand)
toetsen van de sterkte van de tunnel

De scenario's 3,4 en 5 zijn kritische scenario's vanwege de grote invloed van de zelfredzaamheid op het aantal slachtoffers en de potentiële gevolgen van een extreme brand. Hieruit blijkt opnieuw dat brand in een tunnel een sterk maatgevend karakter heeft voor de veiligheid van de gebruikers.

Een sterk maatgevend scenario voor de WOV is één incident in de tunnel met een tweede incident daarachter. Bij één incident rijden de voertuigen voor het incident de tunnel uit en kan de eventuele rook in de rijrichting geventileerd worden. De automobilisten in de file achter het incident ondervinden geen rookoverlast en hun veiligheid komt niet in gevaar ten gevolge van de rookontwikkeling. Indien twee incidenten op enige afstand van elkaar optreden kan de file tussen de twee incidenten niet rookvrij gehouden worden.

- Ventilatie; Een omkeerbare langsventilatie is aangebracht om rook op een effectieve manier te verdrijven voordat de brand geblust is.

Preparatie:

- Brandblusinstallatie en hulpmiddelen
 - Om de 50 meter zijn hulpposten met brandblusmiddelen en communicatie-apparatuur aangebracht.
 - Een schuimvormend middel wordt aan het bluswater toegevoegd, waardoor ingrijpen van ongetrainde betrokkenen kansrijker wordt in geval van benzinebranden.
 - Een watervoorraad voor één uur blussen wordt aangebracht.
 - Sprinkler-installaties worden niet toegepast om een ongecontroleerd blusproces te voorkomen.
- Communicatie
 - Elke dwarsverbinding bevat een telefoon en om de 50 meter is een hulppost.
 - Tunnelbuizen en dwarsverbindingen zijn voorzien van een omroepsysteem.
 - Een Hoog Frequent radio-communicatiesysteem is aangebracht, waardoor mobilfoonverkeer gewaarborgd wordt.
 - Een rechtstreekse telefoonlijn van de tunnelmeldkamer naar de centrale meldkamer van de hulpdiensten is aanwezig.
- Wegontwerp;
 - De middenbermbeveiliging is snel verwijderbaar waardoor hulpverleners snel ter plaatse kunnen zijn en omleidingen makkelijk gerealiseerd kunnen worden.
 - Aparte dienstwegen tot vlak voor de tunnel zijn aangelegd.
- Rampbestrijdingsplan; Een speciale stuur- en werkgroep Veiligheid is samengesteld, die een rampbestrijdingsplan moet ontwikkelen.

Repressie:

In deze fase gaat het om de hulpvoorzieningen die de politie, de brandweer en de ambulancediensten kunnen leveren, in geval een calamiteit zich voordoet.

Herstel en nazorg & Evaluatie

Deze fases zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

1.4 Analyse veiligheid WOV; een kritische beschouwing

Veiligheid is in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding een hot issue en is tot op een laag niveau bestudeerd volgens een probabilistische & deterministische methodiek. De veiligheid in de WOV is echter niet volledig integraal bekeken over alle onderdelen van het totale systeem. De veiligheid wordt geacht beheersbaar te zijn vanuit infrastructurele maatregelen, wat kan leiden tot een suboptimalisatie van de veiligheid in het infrastructuurontwerp. De discussie rondom de tussenafstand van de dwarsverbindingen is daar een goed voorbeeld van. De constatering dat het groepsrisico te hoog is, wordt direct vertaald naar een aantal aanpassingen in het ontwerp van de infrastructuur.

Een alternatieve noodprocedure met daarin een aantal computergestuurde voorzieningen, waardoor informatie in een vroegtijdig stadium beschikbaar is en de gebruikers snel geïnformeerd worden over hoe te handelen, kan de veiligheid aanzienlijk vergroten. Een voorbeeld hiervan is een geïntegreerd systeem dat rook en/of warmte detecteert en tevens detecteert wanneer een voertuig stilstaat in de tunnel. Automatisch kan vervolgens het verkeer op de toeleidende wegen worden stilgezet en kunnen sirenes en lampen in de tunnel ingeschakeld worden om alle mensen uit de auto's richting de dwarsverbindingen te sturen.

Preventie bij de bron:

- Verkeersmaatregelen;
 - De tunnelbekleding wordt in overgangszones reflecterend uitgevoerd ter vergroting van de zichtbaarheid
 - Extra verlichting bij de ingangen ter reductie van “het zwarte gat” effect
 - Verkeersbeheersingsmaatregelen;
 - Hoogte-detectie voor de ingang met roodlichtsignalen
 - Verkeersdetectie en -signalering van de dichtheid en snelheid van het verkeer
 - Afsluitbomen waarmee het verkeer voor de tunnel kan worden stilgelegd
 - Gesloten TV circuit waarmee de tunnel wordt bewaakt en automatisch wordt ingezoomd op een plaats waar snelheidsoverschrijding wordt gesignaleerd
- Detectiesystemen;
 - Onafhankelijke CO-meting per tunnelbuis
 - Zichtmetingssysteem per tunnelbuis
 - Branddetectiesystemen in alle technische ruimten
- Ontwerpfilosofie; Alle voorzieningen t.b.v. de bedrijfsvoering in de tunnel zijn in een kabelkanaal gelegd, waardoor bij storingen de hinder voor het verkeer afneemt. Werkzaamheden in dit kabelkanaal zijn moeilijker waardoor de nadruk komt te liggen op het minimaliseren van de kans van optreden.

Preventieve correctie:

- Vluchtwegen; In het ontwerp zijn dwarsverbindingen tussen beide tunnelbuizen opgenomen met onderlinge afstand van 500 meter, later teruggebracht naar 250 meter. De vluchtdeuren hebben een minimale breedte van 1,50 meter.
- Hittewerende bekleding; Omdat konvooi-rijden de kans op ongelukken met “categorie-1”-stoffen verkleint, is in eerste instantie minder bekleding toegepast. Uiteindelijk is toch een 27 mm dikke bekleding geëist, aangezien de gevolgen van een incident groter zijn door de grotere concentratie van stoffen.
- Geleideconstructie; In de tunnel en bij de toegangswegen is een geleideconstructie aangebracht.
- Overdrukstelsel; De dwarsverbindingen en het kabelkanaal worden onder lichte overdruk gezet, waardoor het verspreiden van gevaarlijke dampen en/of rook voorkomen wordt.
- Wegontwerp;
 - Plasvorming beperken door een gunstige combinatie van langs- en dwarshellingen in de tunnel
 - Geen ZOAB maar klassiek wegdek om plasbranden niet te bevorderen
 - De riolering dusdanig ontwerpen dat grote plasvorming voorkomen wordt
- Installaties;
 - Riolering/pompinstallaties;
 - Speciale voorzieningen die doorschieten van een vlam of explosie vanuit de riolering tot in de kelder voorkomen
 - Explosievrij uitvoeren van alle elektrische apparatuur
 - Overdrukventilatie in drainage-pompkelders ter voorkoming van verspreiding van gassen
 - Tijdelijke opslagmogelijkheden van gevaarlijke stoffen in de waterkelder
 - Direct ingrijpen in de pompinstallaties is mogelijk door handbediening
 - Energievoorziening; Beide tunnels worden vanaf twee onafhankelijke centrales aan weerszijde van de Westerschelde om en om gevoed. Een noodstroomvoorziening is hiermee overbodig, terwijl een no-breakinstallatie zorgt voor een beperkte hoeveelheid stroom voor kritieke toepassingen in noodsituaties (accu-systeem).
- Verlichting; Een minimaal verlichtingsniveau is ten alle tijde gewaarborgd door een gedeeltelijke voeding van de netstroom en de no-breakinstallatie.

Het aantal veiligheidsmaatregelen in het ontwerp van de Westerschelde Oeververbinding is groot en ook het aantal bedieningsmogelijkheden is zeer groot. Bij een eventuele calamiteit bestaan veel mogelijkheden om de gevolgen te beheersen. De kans dat deze mogelijkheden worden benut wordt o.a. bepaald door de training van de beslisser, de juistheid van de verkregen informatie en de tijdigheid van de verschillende meldingen. Dit proces is voor een veilig gebruik sterk maatgevend en dient dan ook in het nader uit te werken rampenbestrijdingsplan meegenomen te worden.

Zo'n systeem kan de beschikbare vluchttijd sterk vergroten en daardoor kan de totale vluchttijd afnemen, waardoor bijvoorbeeld minder dwarsverbindingen noodzakelijk zijn.

Een maatgevend scenario zoals een plasbrand moet niet per definitie leiden tot een suboptimalisatie in de infrastructuur. De vereiste investering is misschien beter besteed in de minimalisering van de kans van optreden op een plasbrand. Een andere mogelijkheid is om vrachtwagens die gevaarlijke stoffen vervoeren robuuster te ontwerpen waardoor in de toekomst minder problemen ontstaan met het steeds groter wordende aantal lange en diepe verkeerstunnels.

De berekeningen van de TNO-studie laten zien dat een verkleining van de afstand tussen de dwarsverbindingen van 500 naar 250 meter een reductie in het maximale schade-omvang van 210 naar 200 slachtoffers betekent. Een stilstanddetectie-systeem gecombineerd met automatisch stilleggen van het verkeer voor de tunnel heeft een reductie in de maximale schade-omvang van 210 naar 125 slachtoffers tot gevolg. Dit laat zien dat de invloed van het harde infra-ontwerp op de totale veiligheid niet extreem groot is, in vergelijking tot de invloed van de bepalende systemen voor de procesvoering (zie bijlage C.1).

Het eerste ontwerp van de Westerscheldetunnel bevatte een aantal maatregelen die uit kostenoverweging zijn geschrapt. Dit zijn o.a. enige tunnelinstallaties en hittewerende bekleding voor een "categorie-1" tunnel. Naar aanleiding van het advies van de Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel is een aantal maatregelen, zoals de hittewerende bekleding, opnieuw opgenomen in het ontwerp. De veiligheid gaf de doorslag ten opzichte van de kosten. Dit proces geeft aan dat behoefte is aan een geaccepteerde verhouding tussen de kosten van een maatregel/voorziening en de verbetering van de veiligheid, bijvoorbeeld uitgedrukt in het aantal bespaarde gewonden en dodelijke slachtoffers.

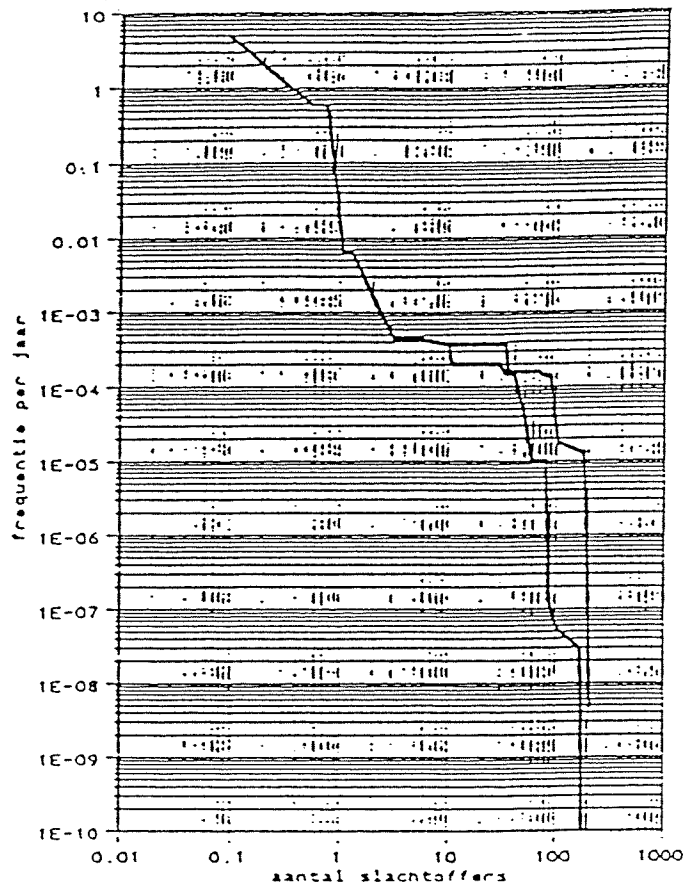
Een groot verschil tussen een auto- en een treintunnel is de mate waarin individuele gebruikers eigen beslissingen kunnen nemen. Een automobilist kan remmen, doorrijden, in de auto blijven of de auto verlaten, terwijl de treinreiziger in de trein blijft of gedwongen wordt om de trein te verlaten. Het verschijnsel zelfredzaamheid heeft hiermee een heel andere verschijningsvorm voor de HSL, in vergelijking tot de WOV. Dit kan grote invloed hebben op de veiligheidsfilosofie van de HSL-Zuid.

Daarnaast is een groot verschil dat een brand in de Westerscheldetunnel in korte tijd een grote ontwikkeling doormaakt, bijvoorbeeld als gevolg van een exploderende benzinetank o.i.d. Een treinbrand daarentegen ontwikkelt zich vrij langzaam en kan maximaal een vermogen van 20 MW bereiken.

De Deskundigencommissie Veiligheidsaspecten Westerscheldetunnel heeft in haar advies vermeld dat een verkeerstunnel, ten principale, hetzelfde veiligheidsniveau moet hebben als een vergelijkbaar wegvak. Deze uitspraak is in tegenstelling met de huidige praktijk van verkeerstunnels, die ongeveer een factor 3 onveilig zijn dan een vergelijkbaar wegvak. Deze stelling is als basisgedachte voor het ontwerpen van een veilig systeem uitermate nuttig en bruikbaar. In een vergevorderd ontwerpstadium moet vervolgens worden afgewogen of het rendement van de benodigde investeringen in veiligheid voldoende hoog is. Zo niet, dan is de vraag of een factor 3 verschil qua veiligheidsniveau tussen een tunnel en een vergelijkbare weg, voor Nederland als geheel, niet méér economisch verantwoord is.

De gehanteerde gecombineerde probabilistische en deterministische methodiek om een veilig ontwerp te maken is een zeer degelijke methode om een gefundeerd oordeel te kunnen geven van knelpunten voor veiligheid in het ontwerp. De mate van vereiste beheersing en de daaruit voortkomende noodzakelijke veiligheidsmaatregelen moet bepaald worden op basis van een rendementsprincipe en niet alleen op basis van de vereiste veiligheidsnormen.

Het frequentie-schadediagram is als volgt.



Zoals uit de figuur blijkt is het risico bij Aanbieding A (onderste kromme) tot circa slachtoffers vergelijkbaar met Aanbieding C. Vanaf 8 slachtoffers is het risico bij Aanbieding C steeds hoger dan bij Aanbieding A.

Op basis van de resultaten is nagegaan wat de bijdrage is aan het ongevalsrisico van de verschillende ongevalstypen. Dit geeft het volgende beeld:

- Aanbieding A
 - verkeersongevallen zonder brand: 47,8%
 - brand van personenauto's en vrachtauto's (exclusief lading): 50,9%
 - brand van vrachtauto's + lading: 1,15%
 - gevaarlijke stoffen: 0,06%
- Aanbieding C
 - verkeersongevallen zonder brand: 47,3%
 - brand van personenauto's en vrachtauto's (exclusief lading): 50,0%
 - brand van vrachtauto's + lading: 2,6%
 - gevaarlijke stoffen: 0,06%

Bijlage E.1: Samenvatting TNO-studie: Vergelijking veiligheid voor de weggebruiker van twee varianten van de Westerschelde Oeververbinding

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directie Zeeland heeft de afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu- en Energietechnologie een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de aanwezigheid van veiligheidsvoorzieningen op het ongevalsrisico voor twee aanbiedingen van de Westerschelde Oeververbinding (WOV). Het betreft Aanbieding A en Aanbieding C. De doelstelling van de studie is het vergelijken van het ongevalsrisico van:

een tunnelbuis voorzien van vluchtdouren elke 100 meter naar een vluchtgang (Aanbieding A) ten opzichte van het ongevalsrisico van een tunnelbuis voorzien van vluchtdouren elke 500 meter, naar een dwarsverbinding die is verbonden met de tweede tunnelbuis (Aanbieding C).

Het ongevalsrisico is in deze studie gedefinieerd als het risico voor de weggebruikers als gevolg van verkeersongevallen in de tunnelbuis. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen verkeersongevallen zonder brand, verkeersongevallen met brand en ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn.

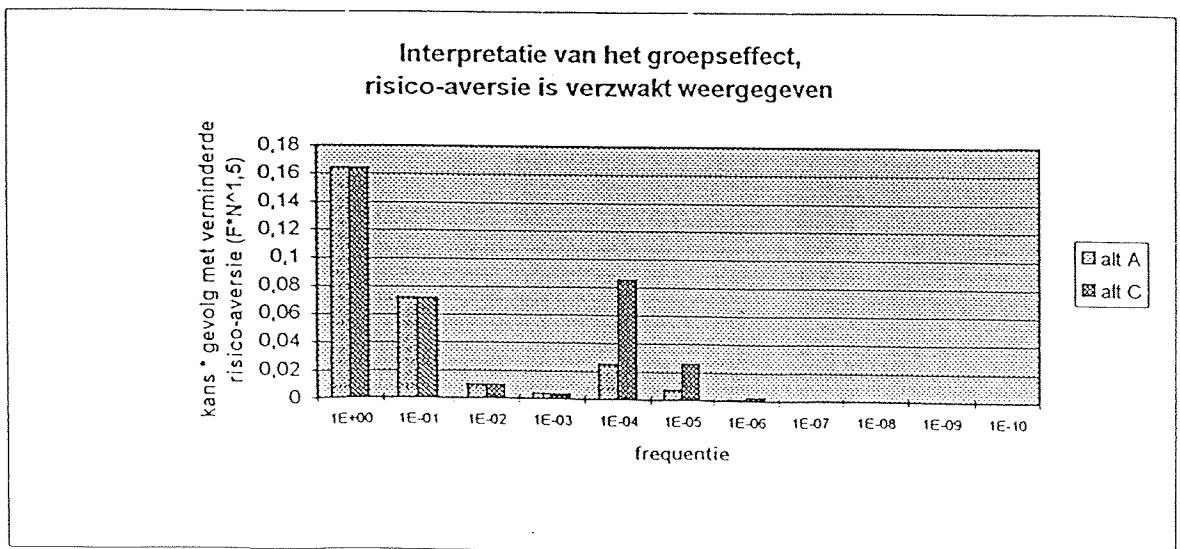
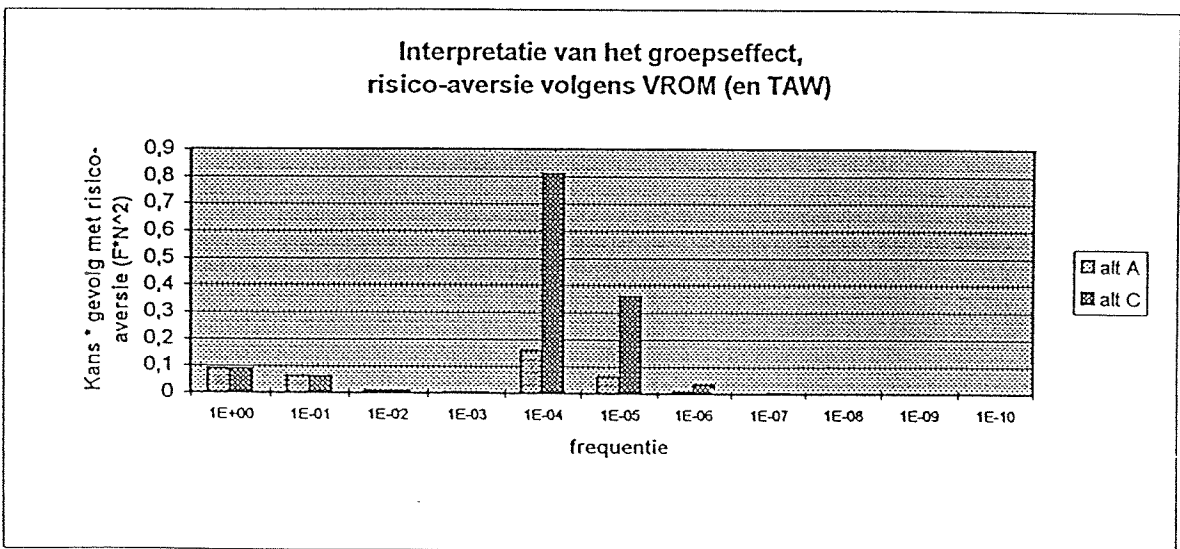
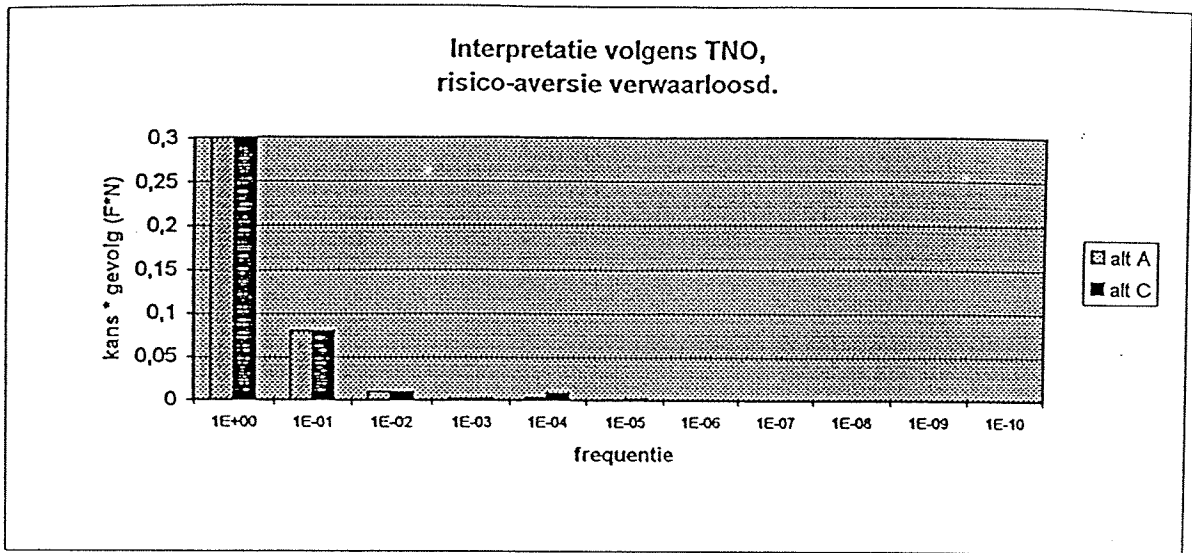
Aan de hand van een systematische kwantitatieve risico-analyse is de schade-omvang van ongevallen berekend en is de frequentie van optreden van schade bepaald. Het resultaat is gekwantificeerd in aantal slachtoffers per jaar (verwachtingswaarden per jaar) en in de vorm van een frequentie slachtofferdiagram.

In de tabel hieronder is een samenvatting gegeven van de schade-omvang en de verwachtingswaarden.

Aanbieding	Verwachtingswaarde en maximaal aantal slachtoffers (verwachte slachtoffers per jaar)				
	Verkeersongevallen zonder brand	Brand van personenauto's en vrachtauto's (exclusief lading)	Brand van vrachtauto's (incl. lading)	Ongevallen met gevaarlijke stoffen	Totale verwachtingswaarde
Aanbieding A					
Verwachtingswaarde	0,416	0,443	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,870
Maximale schade-omvang	0,093 ¹⁾	1,3 ¹⁾	105	180	-
Aanbieding C					
Verwachtingswaarde	0,416	0,443	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	0,883
Maximale schade-omvang	0,093 ¹⁾	1,3 ¹⁾	210	210	-

¹⁾ gemiddeld slachtofferaantal

Bijlage E.2: Vergelijking effect meenemen risico-aversie



Uit de bijdrage van de verschillende ongevalstypen blijkt dat bijdrage aan de verwachtingswaarde van het vervoer gevaarlijke stoffen voor beide Aanbiedingen gelijk is en relatief gering. De bijdrage van brand van vrachtauto's inclusief de lading is bij Aanbieding C circa een factor 2,3 hoger dan bij Aanbieding A. De bijdrage van de verkeersongevallen met brand en zonder brand (exclusief de lading bij vrachtauto's) is vergelijkbaar bij beide Aanbiedingen en bepaald de verwachtingswaarde voor circa 98%.

Uit de schadeberekeningen is geconcludeerd dat de maximale schade-omvang in de tunnel wordt bepaald door het aantal voertuigen in de tunnelbuis in combinatie van een vrachtautobrand en lading, en door een brand van benzine beide gecombineerd met niet starten van de tunnelventilatie.

Verder is nagegaan in hoeverre de schade-omvang wijzigt indien de afstand van vluchtdeuren wordt verkleind.

Gebleken is dat de schade-omvang alleen wordt gereduceerd bij het ongevalstype: brand van vrachtauto's en lading. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat als uitgangspunt is aangenomen dat personen binnen een bepaalde afstand vanaf een vluchtdeur nog kunnen ontsnappen.

Zo heeft verkleining van de vluchtdeur afstand bij Aanbieding C (bijvoorbeeld van 500 meter naar 250 meter) een te verwaarlozen invloed op de verwachtingswaarde ook de invloed op de maximale schade-omvang is gering (afname van 210 naar 200 slachtoffers).

Ook is onderzocht in hoeverre het risico wijzigt indien voor de gemiddelde vluchtsnelheid ($1,1 \text{ m.s}^{-1}$) de ondergrens van $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ of de bovengrens van $1,6 \text{ m.s}^{-1}$ wordt toegepast. Gebleken is dat wijziging van de vluchtsnelheid in de tunnel alleen bij Aanbieding A de schade-omvang beïnvloed. Dit wordt veroorzaakt doordat bij Aanbieding C de afstand tussen de vluchtdeuren zo groot is dat ondanks de hogere vluchtsnelheid, de verblijftijd in de tunnel zo lang is dat geen reductie optreedt van het aantal slachtoffers.

De invloed van de wijziging van de vluchtsnelheid op het totale risico is echter te verwaarlozen.

Aanvullend is nagegaan wat de invloed is van het toepassen van stilstanddetectie gecombineerd met automatisch stilleggen van het verkeer voor de ingang van de tunnelbuis. Gebleken is dat de maximale schade-omvang bij Aanbieding A wordt gereduceerd van 180 naar 110 slachtoffers en bij Aanbieding C van 210 naar 125 slachtoffers. De invloed op het risiconiveau is merkbaar vanaf circa 80 slachtoffers, terwijl de verwachtingswaarde vrijwel gelijk blijft.

Tenslotte wordt geconcludeerd dat het risico in grote mate wordt bepaald door de ongevallen waarbij geen brand optreedt of alleen sprake is van brand van beperkte omvang (cabinebrand) en dat verkleining van de filelengte nabij het ongeval de schade-omvang in belangrijke mate reduceert. Dit betekent dat verlaging van het risico voornamelijk wordt bereikt door maatregelen die verkleining van de filelengte in de tunnelbuis ten doel hebben.

Halvering van de vluchtdeur afstand bij Aanbieding C reduceert wel het maximaal aantal slachtoffers maar de invloed op de verwachtingswaarden is te verwaarlozen.

Bijlage E.3: Optimalisatie dwarsverbindingen Westerschelde Oeververbinding

H.O.H afstand dwarsverb.	max. tijd bij gebruik adem-bescherming ¹⁾	looptijd hulpverleners heen en weer ²⁾	effectieve tijd voor hulp ³⁾	vereiste bergingsruimte (pers.) ⁴⁾	aanwezige bergingsruimte (pers.) ⁵⁾	tijd nodig voor vluchten ⁶⁾	max. verblijfstijd ⁷⁾	extra kosten ⁸⁾
500 meter	20 minuten	20 minuten	0 minuten	125 à 175	110 à 150	35 minuten	20 minuten	0
333 meter	20 minuten	13 minuten	7 minuten	125 à 175	110 à 150	.. minuten	20 minuten	37
250 meter	20 minuten	10 minuten	10 minuten	100 à 150	110 à 150	20 minuten	20 minuten	61
200 meter	20 minuten	8 minuten	12 minuten	80 à 130	110 à 150	17 minuten	20 minuten	94
167 meter	20 minuten	6,5 minuten	13,5 minuten	70 à 120	110 à 150	.. minuten	20 minuten	126
100 meter	20 minuten	4 minuten	16 minuten	40 à 90	110 à 150	12 minuten	20 minuten	?

Bij een ongeval met brand ter plaatse van de dwarsverbinding is er geen effectieve tijd voor hulpverlening over als de dwarsverbindingen om de 500 meter zijn geplaatst. Bij dwarsverbindingen om de 250 meter is er een redelijke effectieve werktijd over (10 minuten). Voor een beschouwing over de effectiviteit van de hulpverlening bij een ongeval zonder brand wordt verwezen naar bijlage 5.

De bergingscapaciteit lijkt (net) voldoende bij dwarsverbindingen om de 250 meter. Hoewel dit twijfelachtig is, mede gezien de aanname dat er 6 tot 8 personen per vierkante meter in de dwarsverbindingen passen.

Kosten voor het twee maal zo breed maken van de dwarsverbindingen om de 500 meter zijn 58 miljoen gulden. (bronnen: rapportage van 18 april 1997 bladzijde 44; concept rapportage van 10 april 1997 bladzijde 38 voetnoot 34). Voordeel van verbreden van de dwarsverbindingen is dat de bergingscapaciteit met grote waarschijnlijkheid voldoende is en de paniek verminderd wordt. Echter de kosten zijn vergelijkbaar met de kosten van het verdubbelen van het aantal dwarsverbindingen. Verbreding is volgens de commissie geen optimale optie.

Voor enkele betrokkenen is de vluchtweg te lang bij dwarsverbindingen om de 500 meter, bij deze mensen zal schade aan de gezondheid optreden. Bij een H.O.H. afstand van 250 meter zullen de betrokkenen (grotendeels) op tijd de veilige dwarsverbinding bereikt hebben.

TOELICHTING BIJ DE TABLE:

1. Met adembeschermingsapparatuur kan maximaal 20 minuten gewerkt worden (Bron: Ministerie van Binnenlandse Zaken Ir. A.M.M. van Leest).
2. Voor de looptijd van de hulpverleners is uitgegaan van een loopnelheid van 3 km/uur (50 meter per minuut) en een ongeval ter plaatse van een vluchtleur; de tijden betreffen heen en weer lopen.
3. Resterende tijd voor de hulpverlening wordt berekend als het verschil tussen de maximale tijd en de looptijd.
4. Uitgegaan wordt van een file van 300 meter (bron: concept Eindrapportage Veiligheid Westerscheldetunnel dd. 10 april voetnoot 34); 25 auto's per 100 meter en 1,65 personen per auto (bron: TNO rapport juni 1995); alle personen uit de file in één dwarsverbinding als de afstand tussen twee verbindingen langer is dan de filelengte of alle personen tussen twee dwarsverbindingen in één dwarsverbinding als de afstand tussen twee verbindingen korter is dan de filelengte. Mogelijk bevindt zich een volle bus (50 personen) in de file. Hiermee wordt het maximum aantal personen berekend (voorbeeld 167 meter: $167/100 \times 25 \times 1,65 = 68,8$; inclusief busse wordt dit $68,8 + 50 = 118,8$).
5. Dwarsverbindingen zijn 12 meter lang en 1,5 meter breed. Uitgaande van 8 personen per vierkante meter (bron: concept Eindrapportage Veiligheid Westerscheldetunnel dd. 10 april voetnoot 34); betekent dit ongeveer 150 personen bergingscapaciteit. Bij 6 personen per m² (aanneame van de commissie) is er slechts plaats voor ongeveer 110 personen.
6. Voor vluchtende mensen geldt een looptijd van 0,4 tot 1,2 m/s. De in de tabel genoemde tijden zijn overgenomen uit fig. 5.12 van het DNV rapport (20-01-97).
7. Na 20 minuten is er schade aan de gezondheid (DNV rapport van 20-01-97).
8. Extra kosten in miljoenen gulden (bron: Eindrapportage Veiligheid Westerscheldetunnel dd. 18 april, biz 42). Excl. BTW, verfragsseffecten, loon- en prijsstijgingen, renteverlies, onkosten, etc.

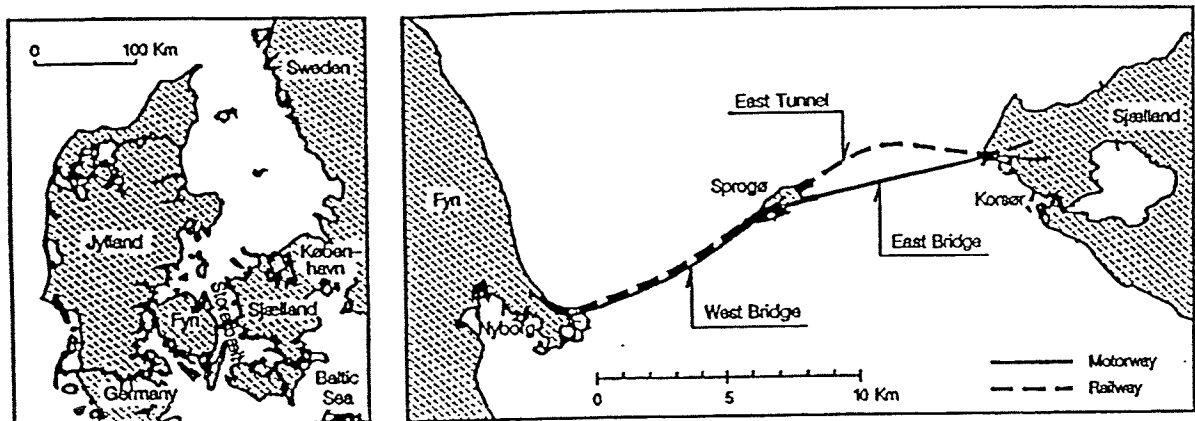
1 Störebelttunnel

1.1 Projectomschrijving

De Störebeltverbinding (Great Belt) is een gecombineerde rail- en wegverbinding tussen de Deense eilanden Fyn en Sjaelland. De Störebeltverbinding maakt deel uit van een Oost-West verbinding ten behoeve van de economische en commerciële ontwikkeling van Denemarken.

De verbinding bestaat uit drie verschillende kunstwerken (zie figuur 1):

- De Westelijke brug, 6,6 kilometer lang voor gecombineerd rail- en wegverkeer.
- De Oostelijke tunnel (Störebelttunnel), 7,9 kilometer lang voor railverkeer.
- De Oostelijke brug, 6,8 kilometer lang voor wegverkeer met een maximale overspanning van 1.624 m.



Figuur 1: Overzicht Störebeltverbinding

De railverbinding is voor goederentreinen geopend op 6 april 1997 en voor reizigerstreinen op 1 juni 1997. In juni 1998 zal de wegverbinding geopend worden. Voor het ontwerp en de uitvoering van de verbinding is een specifieke overheidsorganisatie ingesteld, The Great Belt Link Ltd. De railverbinding wordt beheerd door de Deense nationale spoorwegen, Banestyrelsen. [Kampmann, oktober 1997]

De Störebelttunnel bestaat uit twee enkelsporige tunnelbuizen, met een interne diameter van 7,7 meter en een diepste punt op 75 meter beneden het zeeniveau. De tunnels liggen hart op hart 25 meter uit elkaar en zijn onderling verbonden met dwarsverbindingen om de 250 meter. De dwarsverbindingen bevatten elektrische tunnelinstallaties en bieden een vlucht- en toegangsweg in geval van een calamiteit.

De ontwerp-snelheden van de treinen in de tunnel zijn gelijk aan de snelheden op de overige baanvakken, 180 km/uur voor reizigerstreinen en 120 km/uur voor goederentreinen. De restricties voor het vervoeren van goederen door de tunnel komen overeen met de restricties op de overige Deense spoorwegen. Per uur zullen gemiddeld vijf treinen gebruik maken van de tunnel, waarvan twee goederentreinen en drie reizigerstreinen. De reizigerstreinen worden zowel elektrische als met diesel aangedreven en de goederentreinen worden elektrisch aangedreven, met uitzondering van de komende 7 jaar waarin ook nog enige dieselloederentreinen zullen rijden. [Kampmann, oktober 1997]

Bijlage F.0: Analyse veiligheid Störeltunnel

1	Störeltunnel	2
1.1	Projectomschrijving	2
1.2	Veiligheidsfilosofie	3
1.3	Veiligheidsmaatregelen	5
1.4	Reddingsconcepten bij calamiteiten	6
1.4.1	Zelfredzaamheid	6
1.4.2	Hulpverlening	7
1.4.3	Calamiteitenoefening	7
1.5	Analyse veiligheid; een kritische beschouwing	8

Het maximale risico voor gebruikers komt overeen met het risiconiveau op auto- of spoorwegen op het Deense vasteland met een gelijke lengte. Onderscheid wordt gemaakt in een individueel en een maatschappelijk risiconiveau, door de maatschappelijke aversie tegen ongevallen met veel dodelijke slachtoffers ineens (zie figuur 3). [Kampmann, oktober 1997]

		Criterion
Individual risk		$5 \cdot 10^{-3}$ fatalities/year
Societal risk	Consequence classes	
	1 - 19 fatalities	$3 \cdot 10^{-3}$ accidents/year
	20 - 200 fatalities	$5 \cdot 10^{-6}$ accidents/year
	more than 200 fatalities	$1 \cdot 10^{-6}$ accidents/year

Figuur 3: Risicocriteria voor gebruikers van de Störebelttunnel

Veiligheidsprogramma voor de Störebelttunnel

Om voor de gehele tunnel een acceptabel risiconiveau te verkrijgen is een groot aantal activiteiten ont-plooid: [Kampmann, oktober 1997]

- Benoemen van de relevante veiligheidscriteria, zoals de risiconiveau's
- Ontwerpen van de tunnel op basis van bestaande normen, ontwerp-ervaring van betrokkenen, resulta-ten van de risico-analyses en de adviserende commissie.
- Een adviserende commissie heeft de toekomstige eisen aan het systeem geanalyseerd. Deze commis-sie bestaat uit leden van alle betrokken partijen, de nationale spoorwegen, de beheerders, vertegen-woordigers van de hulpverlenende diensten etc.
- Het uitvoeren van risico-analyses in een drietal fases van het project, tijdens het voorlopig ontwerp, het definitief ontwerp en net voor de oplevering van de tunnel.

Het uitvoeren van de risico-analyse en het werk van de adviserende commissie heeft in een vroeg stadi-um van het project plaats gevonden. Dit is relevant omdat belangrijke veiligheidsbeslissingen vroegtijdig in het project genomen zijn.

Risico-analyse voor gebruikers van de tunnel

De risico-analyse voor gebruikers van de tunnel onderscheid twee type risico's, risico's ten gevolge van treinongelukken en externe risico's zoals overstromingen of aardbevingen. De basis van de risico-analyse van treinongelukken wordt gevormd door statistische informatie van het Deense conventionele spoor. Deze statistische informatie is als volgt geïmplementeerd in de risico-analyse voor de tunnel:

1. Vaststellen van het risico op een open baan, op basis van de statistische informatie
2. Elimineren van de risico's die in de tunnel niet kunnen optreden
3. Het risico kwantificeren van rijden door een kale tunnel zonder veiligheidsmaatregelen
4. Het effect op het totale risico van de verschillende maatregelen kwantificeren

Het totale risico in de tunnel neemt af doordat flankaanrijdingen niet kunnen optreden en ontsporingen geen grote gevolgen kunnen hebben door de ontsporingsgeleiding in de tunnel. Doordat de tunnel uit

Tunnelinstallaties

De tunnel is uitgerust met de gebruikelijke spoorweginstallaties en een groot aantal extra voorzieningen ter beheersing van eventuele calamiteiten. Deze extra voorzieningen zijn ontworpen met een grote mate van redundantie op basis van de volgende uitgangspunten: [Kampmann, oktober 1997]

- De twee treintunnels en de dwarsverbindingen moeten gescheiden worden in twee onafhankelijke secties, met betrekking tot rook en vuur.
- Brand of een gelijkwaardig incident in één sectie van een tunnelbuis mag de installaties in de overige secties in deze tunnelbuis niet beïnvloeden.
- Brand of een gelijkwaardig incident in een dwarsverbinding mag geen hinder opleveren voor het normale gebruik van de twee treintunnels.
- Alle installaties moeten vervoer van gevaarlijke stoffen door de tunnel kunnen toestaan.

1.2 Veiligheidsfilosofie

Net zoals bij conventionele infrastructurele projecten wordt de veiligheid beheerst door het opstellen van nomen en standaarden, ervaring van de ontwerpers en door kwaliteitsborging in het ontwerp- en uitvoeringsproces. De innovatieve aspecten van de Störebeltverbinding maken aanvullend onderzoek noodzakelijk. De verschillende aanvullende analyses zijn ondergebracht in een veiligheidmanagementsysteem dat bestaat uit vijf elementen:

- benoemen van veiligheidsdoelstellingen
- vastleggen van de verantwoordelijkheid voor veiligheid
- een veiligheidsprogramma (een plan voor het uitvoeren van risico-analyses)
- een besturingssysteem voor de implementatie van de verschillende aannames, behoeften en aanbevelingen.
- audits

Veiligheidsdoelstellingen

De doelstellingen voor de Störebeltverbinding worden uitgedrukt in risico-acceptatiecriteria. Onderscheid wordt gemaakt in risico's voor de gebruikers ten gevolge van ongelukken en in risico van een langdurige onderbreking van de exploitatie (zie figuur 2). [Kampmann, oktober 1997]

	The entire Link	The East Tunnel
Simultaneous disruption of both rail and road connections	0.02	0.001 (disruption of both East Tunnel and East Bridge)
Disruption of the rail connection*	0.1	0.04
Disruption of the road connection*	0.1	Not applicable

Figuur 2: Maximaal toelaatbare risico's voor onderbrekingen van meer dan 1 maand op een levensduur van 100 jaar.

- Tijdscontrole op bloksecties om de toegestane verblijfstijd te meten om indien nodig alarm te slaan en het ventilatiesysteem in te schakelen
- Beperkingen in het treindetectiesysteem om te voorkomen dat een reizigerstrein en een goederentrein tegelijkertijd in dezelfde buis rijden. Indien explosieven vervoerd worden, mag geen andere trein aanwezig zijn in de tunnel en bovendien mag per wagon slechts 5 ton explosieven vervoerd worden.
- Hotbox detectie, controle van de afmetingen en controle op ontsporingen vindt plaats aan beide tunneluiteinden om te voorkomen dat treinen met deficiënties de tunnel ingaan.
- Alarmsysteem voor gassen, als NO_x, CH₄, CO, CL₂ in de tunnel
- Ventilatiesysteem om de treinpassagiers van verse lucht te voorzien als de trein stopt

2. Maatregelen ter beheersing van de gevolgen:

- Bij brand in de trein rijdt de trein in principe de tunnel uit omdat buiten de tunnel de brand beter te bestrijden is. In alle reizigerstreinen is een noodremoverbrugging beschikbaar voor de machinist om te voorkomen dat de trein in de tunnel stil komt te staan. Bovendien beschikt het merendeel van de reizigerstreinen over een tweede aandrijvingsbron waardoor bij motorstoring de trein toch de tunnel uit kan rijden.
- Een verbetering van de reizigersvoorzieningen in de trein, die voldoen aan de internationale normen voor brandbestrijding etc.
- Alle treinen die gebruik maken van de tunnel zijn voorzien van branddetectoren

In de risico-analyse zijn meer risicoreducerende maatregelen gekwantificeerd, zoals een televisiesysteem of een luidsprekerssysteem. Het effect van deze systemen op het risico is te klein, waardoor deze niet zijn geïnstalleerd.

1.4 Reddingsconcepten bij calamiteiten

Het reddingsconcept onderscheidt de mogelijkheid tot zelfredzaamheid van de gebruikers en de reddingsmogelijkheden door hulpverlenende diensten. Het concept is met een aantal praktijkproeven getoetst.

1.4.1 Zelfredzaamheid

Voor de zelfredzaamheid van de gebruikers zijn de volgende voorzieningen van belang:

- In iedere tunnelbuis liggen aan beide zijden van het spoor vluchtpaden met een breedte van 1,45 m (zie bijlage F.1). Om de 250 meter zijn dwarsverbindingen met een opening van 1,70 m. breed. Deze geometrie voldoet aan de Amerikaanse eis dat een ondergronds station binnen 6 minuten geëvacueerd moet kunnen zijn. Een volledige bezette intercitytrein van 300 meter lengte met 720 passagiers kan binnen 6 minuten geëvacueerd zijn.
- Een ventilatiesysteem
- Communicatiesystemen
- Verlichting

Indien een trein in de tunnel zal stoppen, wordt de evacuatieprocedure als volgt uitgevoerd;

- Het ventilatiesysteem start automatisch met ventileren in de rijrichting van de trein als de trein stil staat. Hierdoor wordt achter de trein verse lucht aangevoerd en wordt de rook voor de trein verdund.
- Het treinpersoneel informeert het controlecentrum over de brand middels de treinradio.
- Het controle-centrum zorgt dat geen enkele trein de tunnel meer inrijdt en dat de treinen in de tunnel zo snel mogelijk naar buiten rijden.

twee afzonderlijke buizen bestaat neemt het totale risico ook af, doordat een trein niet in botsing kan komen met een ontspoorde trein. Het totale risico neemt echter toe doordat een brand grotere gevolgen zal hebben dan bij een open baan.

De risico's in stap 3 en 4 zijn gekwantificeerd door voor iedere type incident een foutenboom op te stellen en de beïnvloeding van de afzonderlijke maatregelen daarin op te nemen (zie figuur 4). [Kampmann, oktober 1997]

Type of accident	Risk Distribution	
	In tunnel without safety measures	On an open line
Derailment	17%	21%
Hitting of obstacle	5%	15%
Collision head-on	23%	21%
Collision front-end	23%	31%
Fire in Train	23%	2%
Explosion	5%	2%
Other train accidents	4%	8%
Total	100%	100%

Figuur 4: Verdeling van het individuele risiconiveau over de verschillende mogelijke incidenten

Het totale individuele risiconiveau voor een tunnelconcept zonder veiligheidsvoorzieningen is berekend op 0,028 doden per jaar. Voor een open baan concept met gelijke lengte en dezelfde verkeersintensiteit is het individueel risiconiveau 0,020 doden per jaar. Dit verschil tussen beide risiconiveau's is te groot, waardoor aanvullende maatregelen vereist worden.

Het nemen van aanvullende maatregelen reduceert het individuele risiconiveau naar 0,013 doden per jaar, waarbij tevens een kleine bijdrage van overige risicobronnen is opgeteld (aardbevingen e.d.). Dit risiconiveau is lager dan het risiconiveau bij een vergelijkbaar baanvak op het Deense vasteland, waarmee de risiconorm is gehaald door het nemen van de aanvullende maatregelen.

Een vergelijking voor het maatschappelijk risiconiveau toont een verlaging van het maatschappelijke risico in de eerste twee categorieën, maar een verhoging van het risiconiveau voor ongelukken met meer dan 200 doden.

1.3 Veiligheidsmaatregelen

De veiligheidsmaatregelen die naar aanleiding van de risico-analyse in het ontwerp zijn opgenomen, zijn opgedeeld in twee categorieën. Maatregelen die de kans van optreden reduceren en maatregelen om de gevolgen te beheersen. [Kampmann, oktober 1997]

1. Maatregelen ter reductie van de kans van optreden:

- Automatische treinbeïnvloeding ter voorkoming van botsing en een te hoge snelheid

Na verbeteringen in de responstijd van het weg/rail-voertuig, het communicatiesysteem, de responstijd van medisch personeel en gereedschap en een training van betrokken personeel is in de tweede oefeningen grote verbetering te merken. De zwaargewonden zijn 2,5 uur naar de botsing uit de tunnel verwijderd.

De geleerde lessen uit de gesimuleerde ongevallen zijn de volgende:

- De basislayout van twee enkelsporige tunnelbuizen en onderlinge dwarsverbindingen is een goede oplossing doordat een buis dienst kan doen als "veilige haven" en rook- en warmtestromen beheerst kunnen worden.
- De onderlinge afstand van 250 m. tussen de dwarsverbindingen is voldoende voor een succesvolle evacuatie van passagiers uit een brandende trein.
- De vluchtpadbreedte van 1,45 maakt het mogelijk, dat gewonde reizigers op het vluchtpad liggen, terwijl niet-gewonden reizigers kunnen passeren.
- Het basisreddingsconcept voldoet.
- De betrokken autoriteiten zijn tevreden met de geïnstalleerde communicatiesystemen.
- Grote calamiteitenoefeningen met alle betrokken partijen en de pers moeten niet gehouden worden, voordat het complete tunnelsysteem volledig in gebruik is. [Gundersen, juni 1997]

1.5 Analyse veiligheid; een kritische beschouwing

Bij de analyse van de gehanteerde veiligheidsfilosofie van de Störeltunnel blijkt dat de beoordeling van veiligheid in het ontwerpproces een sterke ontwikkeling doormaakt in vergelijking met een aantal jaren geleden. De veiligheid in de Störeltunnel is vanuit meerdere invalshoeken benaderd, waarbij duidelijk wordt aangegeven dat vroegtijdig in het ontwerp belangrijke veiligheidsbeslissingen genomen dienen te worden. De gehanteerde aanpak toont een combinatie van probabilistische technieken en analyses van de zelfredzaamheid en het reddingsconcept.

De normen voor veiligheid maken onderscheid in het Individueel risico en het maatschappelijk risico, vergelijkbaar met de auto- of spoorwegen op het Deense vasteland. Als referentiesituatie wordt een vergelijkbaar baanvak op het vaste land met gelijke lengte en een gelijke verkeersintensiteit gehanteerd. Het onderscheid in tunnels en overige baanvakken wordt daarbij niet gemaakt.

De mogelijkheden voor zelfredzaamheid in de tunnel zijn groot, vluchtpaden aan beide zijden van het spoor met een breedte van 1,45 m. De zelfredzaamheid wordt getoetst op een norm dat binnen 6 minuten een volledig bezette trein geëvacueerd moet kunnen worden. De uiteindelijke toetsing van het ontwerp door een risico-analyse in de eindfase en het uitvoeren van een aantal calamiteitenoefeningen geeft aan dat veiligheid in het ontwerp een zeer belangrijke rol heeft gespeeld.

De verschillende calamiteitenoefening tonen zeer nadrukkelijk hun meerwaarde doordat bij de tweede oefening een aanzienlijke verbetering naar voren kwam, onder andere door de betere training van het personeel en de overige betrokkenen. Een regelmatige training van personeel en hulpverleningspartijen door het uitvoeren van calamiteitenoefeningen lijkt dan ook zinvol tijdens de exploitatiefase van een project.

- Na acceptatie door het controle centrum evacueert het treinpersoneel de passagiers. De passagiers worden met megafoons en luidsprekers via de rookvrije zijde door de dwarsverbindingen naar de andere tunnelbuis geleid.
- Het ventilatiesysteem in de andere tunnelbuis ventileert in dezelfde richting om binnendringen van rook te voorkomen en een veilig gebied te creëren.

1.4.2 Hulpverlening

De hulpverlenende diensten voor de Störeltunnel zijn samengesteld uit de bestaande diensten aan beide zijden van de tunnel. Belangrijke aanwezige voorzieningen van hulpverlening zijn:

- toegangswegen tot de tunnel
- radio in de tunnel voor calamiteiten
- blusaansluitingen in iedere tunnelbuis om de 125 meter
- een speciaal weg/rail voertuig met plaats voor 11 personen en 4 personen op stretchers
- een speciaal weg/rail voertuig met hulpverleningsmaterieel aan de andere zijde van de tunnel
- helioperlandingsplaatsen naast de tunnel

In geval van een calamiteit zal de hulpverlening als volgt plaatsvinden;

- De beide weg/rail voertuigen worden naar het spoor gereden en worden binnen 15 minuten op het spoor geplaatst, aan beide zijden van de tunnel. De coördinatie van de verschillende hulpverleners gebeurt door de verantwoordelijke wachtcommandant, die naar het controle centrum gaat.
- De twee hulpverleningsteams gaan de vrije tunnelbuis in of de andere tunnelbuis in de ventilatierichting
- Een lege trein wordt de vrije tunnelbuis ingereden om de passagiers te evacueren
- Politie, medische teams en andere hulpverlenende diensten kunnen de tunnel in met materieel dat wordt gebruikt voor onderhoud.

1.4.3 Calamiteitenoefening

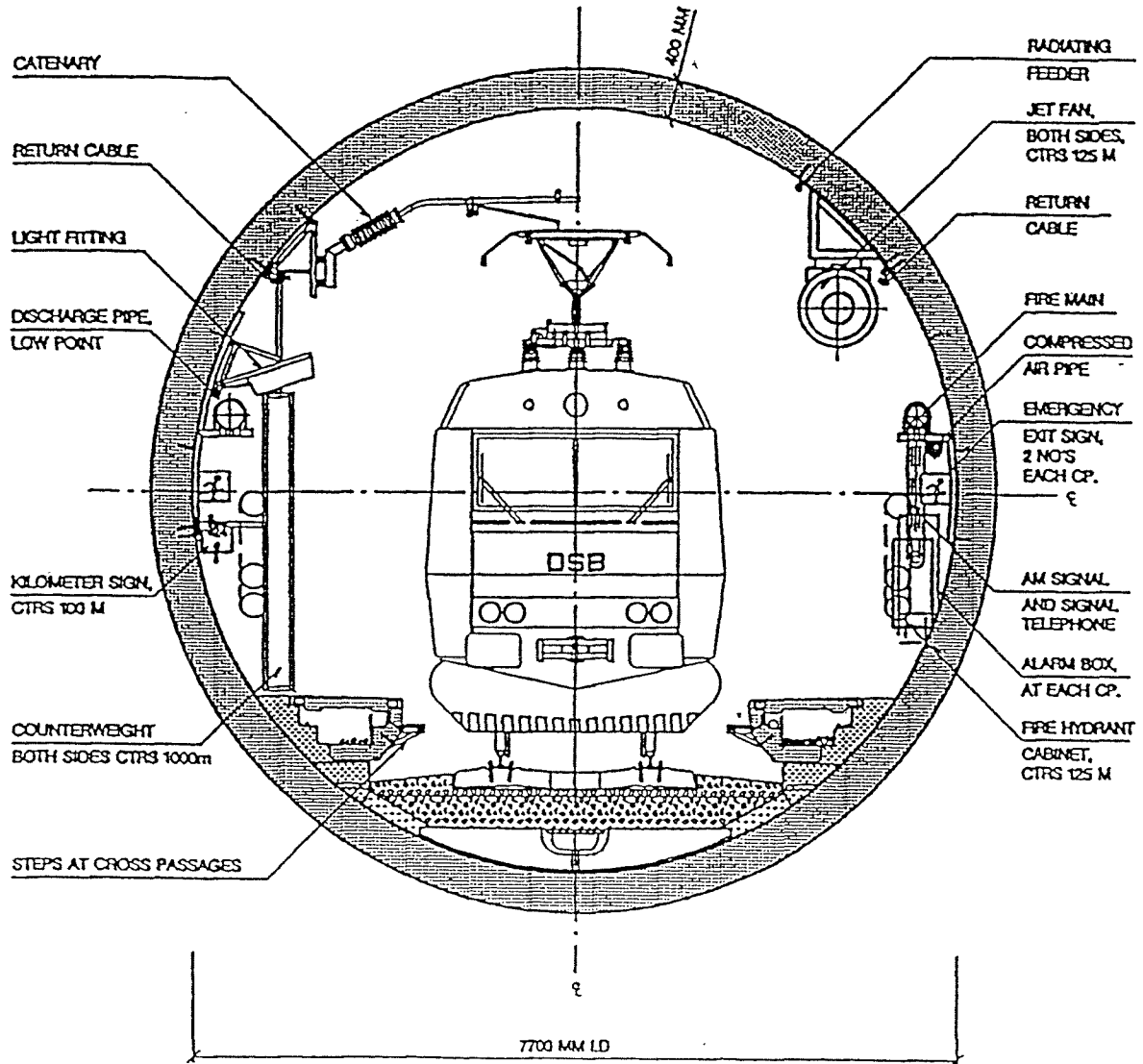
Voor de opening van de Störeltunnel is een aantal oefeningen uitgevoerd om de verschillende betrokken partijen bekend te maken met de specifieke omstandigheden. In totaal zijn een zevental oefeningen uitgevoerd. [Gundersen, juni 1997]

Een belangrijke oefening was de oefening op 22 januari 1997 waarbij een botsing werd gesimuleerd tussen een goederen- en een reizigerstrein. Aan de voorkant van de reizigerstrein ontstond brand en van de 420 reizigers raakten 60 personen gewond. Een tweede belangrijke oefening was de oefening van 10 april 1997 met dezelfde situatie.

Bij de eerste oefening is de evacuatie van niet- en lichtgewonden naar de andere buis gestart na toestemming van de treindienstleiding. De evacuatie was compleet 15 minuten na de botsing. Een aantal communicatie- en regelfouten is gemaakt:

- Ofschoon het treinverkeer in de andere buis al was stopgezet, stonden reizigers te wachten voor een deur die het sein "onveilig" toonde.
- De tunnelverlichting werd vrij laat aangezet.
- De informatie door het personeel via de treinintercom en megafoons schoot tekort. Ongeveer 100 mensen liepen ongecontroleerd weg.
- Het weg/rail-voertuig was 23 minuten na de botsing operationeel aanwezig op het spoor voor de tunnelmond; dit was 8 minuten later dan de norm doordat de werkzaamheden aan de toegangswegen niet waren afgerond, als gevolg van het winterweer.

Bijlage F.1: Dwarsdoorsnede Störelbelttunnel



1 Kanaaltunnel

1.1 Projectomschrijving

Onder Het Kanaal tussen Cheriton bij Folkestone in Engeland en Coquelles in Frankrijk ter hoogte van de "Pas de Calais" liggen drie tunnels met een lengte van 50 kilometer, waarvan 37 kilometer onder de zee. Twee tunnels zijn voor treinverkeer en hebben een interne diameter van 7,6 meter. De derde tunnel is een service-tunnel met een interne diameter van 4,8 meter. De drie tunnels liggen op een diepte tussen de 25 en 40 meter onder de zeebodem en zijn om de 375 meter onderling verbonden. Ten behoeve van de aërodynamica in de tunnel zijn om de 200 meter kleine verbindingsbuizen tussen de twee treintunnels geconstrueerd. [Hall, november 1992] De tunnel wordt geëxploiteerd door de private organisatie Eurotunnel en is geschikt voor vier verschillende typen voertuigen:

- Auto's, bussen en motors in een reizigers-shuttle,
- Heavy Goods Vehicles (HGV's) in een vracht-shuttle,
- Reizigers-treinen,
- Vracht-treinen.

De eerste twee worden geëxploiteerd door Eurotunnel (zie bijlage G.1) en de laatste twee door de desbetreffende nationale spoorwegen.

De beide shuttle-systemen zijn ontworpen om 24 uur per dag, gedurende het hele jaar gebruikt te worden in bijna alle weersomstandigheden. Passagiers rijden met hun voertuig de reizigers-shuttle in en blijven bij hun voertuig. Bestuurders van HGV's worden van hun voertuig gescheiden tijdens de reis door de tunnel en verblijven in een apart compartiment in de trein. Het totale systeem verzorgt een verbinding van de Franse snelweg naar de Engelse snelweg of vice versa, binnen één uur.

Op dit moment heeft het totale vervoerssysteem een capaciteit van 20 passages per uur door de tunnel per rijrichting. Deze capaciteit kan met een eenvoudige aanpassing worden opgevoerd naar 24 passages en met een grote aanpassing in de signalerings-apparatuur naar 30 passages. [Morris, april 1995]

1.2 Veiligheidsfilosofie

Eurotunnel, de eigenaar en exploitant van de Kanaaltunnel, beseft dat het commerciële succes van de Kanaaltunnel in grote mate afhankelijk is van het gevoel van veiligheid bij de gebruikers van het systeem. Dit is de reden dat het project middels de volgende vijf belangrijke factoren wordt gestuurd: [Eurotunnel, 1994]

- Een voortdurend onderzoek om veilig materieel in een veilig systeem te ontwerpen, door een systematische identificatie en reductie van ongewenste gebeurtenissen.
- Het werven van hoog-opgeleid personeel met de vereiste achtergrond, waarmee getraind wordt naar een positieve en pro-actieve veiligheidscultuur.
- Het opstellen van de gebruiksvoorschriften in nauwe samenwerking met veiligheidsexperts.
- Het opzetten van een dynamische Veiligheids Management Systeem, wat een constante waardering van de veiligheid mogelijk maakt en beschikbaar is voor iedereen in de organisatie.
- Eurotunnel heeft een "Safety Case" samengesteld om te verzekeren dat de goede bedoelingen worden uitgevoerd.

Bijlage G.0: Analyse veiligheid Kanaaltunnel

1	Kanaaltunnel	2	
	1.1	Projectomschrijving	2
	1.2	Veiligheidsfilosofie	2
	1.2.1	Managementorganisatie	3
	1.2.2	Aanpak "Safety Case"	3
	1.2.3	Normering Kanaaltunnel	5
	1.2.4	Beoordeling veiligheid	7
	1.3	Veiligheidsmaatregelen	8
	1.3.1	Tunnelontwerp	8
	1.3.2	Gebruik van de tunnel	10
	1.4	Brand in de Kanaaltunnel, 18 november 1996	10
	1.4.1	Beschrijving van het incident	10
	1.4.2	Maatregelen naar aanleiding van het incident	12
	1.5	Analyse veiligheid; een kritische beschouwing	13

- Een beschrijving van het "Safety Management System" voor een veilig gebruik van het systeem.

De "Safety Case" heeft geen rekening gehouden met eventuele terroristische aanslagen. Het systeem omvat de twee treintunnels, de servicetunnel, het ondersteunende materieel en de beide terminals. De locomotieven, het overige rollende materieel, de verschillende procedures en het bijbehorende personeel behoren tevens tot het systeem. De terminalgebouwen, de onderhoudsruimten en de verschillende toevoerende wegen zijn geen onderdeel van het geanalyseerde systeem.

Om meer inzicht te krijgen in de veiligheid van het systeem is een groot aantal studies uitgevoerd, waarvan de resultaten zijn ondergebracht in de "Safety Case". De belangrijkste zijn studies naar het signaleringssysteem, transport van reizigers in shuttles, goederentransport (HGV), rookbeheersing, gevaarlijke goederen, calamiteitenmanagement, brandontwikkeling, evacuatiemodellen, speciale voertuigen, aardbevingen, aërodynamica en een volledige storing van het elektriciteitssysteem.

De "Safety Case" is ontwikkeld door nauwe samenwerking tussen deskundigen uit Engeland en Frankrijk, wat resulteerde in een gecombineerde probabilistische en deterministische benadering. De Engelse benadering is gebaseerd op een probabilistische aanpak, waarin met een risico-analyse het veiligheidsniveau wordt gekwantificeerd en getoetst aan de vastgestelde eisen. De Franse benadering is meer kwalitatief en is gebaseerd op een deterministische aanpak (zie figuur 1). [Jones, april 1995]

De uitkomst van de probabilistische benadering is dat het risico voor de reizigers in het systeem slechts een klein percentage is in verhouding tot het risico bij de conventionele spoorwegen. Volgens de meer deterministische benadering is m.b.v. een Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) het aantal mogelijke faalmechanismen en hun effecten geanalyseerd. Vervolgens zijn ook de aanwezige beheersingsmogelijkheden van deze faalmechanismen geanalyseerd. De volgende faalmechanismen zijn middels de FMEA-techniek geanalyseerd: [Eurotunnel, 1994]

- Ontsporing
- Botsing
- Brand
- Vergiftiging
- Overstroming
- Verstikking
- Explosie
- Aardbeving
- Abnormale versnelling of vertraging
- Bewegings- en niet-bewegingsongelukken
- Elektrocutie
- Volledige elektriciteitsuitval

Grote tekortkomingen in het ontwerp zijn in deze deterministische analyses niet geïdentificeerd. Deze analyses vormen echter een goede basis om de gebruiksprocedures en het ontwerp van het systeem te toetsen op veiligheid. [Jones, april 1995]

1.2.1 Managementorganisatie

Om de veiligheid in het ontwerp en gebruik van de Kanaaltunnel te garanderen is binnen de organisatie van Eurotunnel een "Safety Directorate" ingesteld, dat onafhankelijk is om neutraal te kunnen oordelen en bovendien nauw samenwerkt met andere afdelingen. De veiligheidsmanager rapporteert aan de Chef Uitvoering en het "Eurotunnel Safety Committee", een organisatie die bestaat uit managers binnen Eurotunnel en vanuit de industrie. Het "Safety Directorate" onttrekt de verschillende afdelingen niet hun verantwoordelijkheid voor de veiligheid, maar ontwikkelt een veiligheidscultuur waarmee de verschillende afdelingen gesteund worden. [Modern Railways, mei 1997]

Vanwege het internationale karakter van Eurotunnel is een controlerende instantie opgezet, opgebouwd uit vertegenwoordigers van de Engelse en de Franse regering, de "Inter-Governmental Commission" (IGC). Deze "Inter-Governmental Commission" controleert alle aspecten die betrekking hebben op de uitvoering en het gebruik van de tunnel. Een "Safety Authority", tevens met vertegenwoordigers uit beide landen, rapporteert direct aan de IGC en bestaat uit verscheidene werkgroepen voor o.a. gevaarlijke goederen, veiligheid van reizigers en regelgeving op het spoor. Uiteindelijk is Eurotunnel verantwoording verschuldigd aan de "Safety Authority" en de IGC om de vergunning voor het gebruik van de tunnel te krijgen.

Eurotunnel vindt het noodzakelijk dat een pro-actieve en overtuigende veiligheidscultuur ontstaat, waarin het personeel zich optimaal inzet voor de totale veiligheid. Veel aandacht wordt besteed aan een volledige en duidelijke rapportage van ongelukken en incidenten. Een incident is een ongewenste gebeurtenis die bij een kleine verandering in de omstandigheden uitgroeit tot schade aan mensen of eigendommen of een verlies van het proces. Een ongeluk is een ongewenste gebeurtenis die schade aan mensen of eigendommen of een verlies van het proces heeft veroorzaakt. Berekeningen tonen aan dat 600 incidenten optreden, waarvan één daadwerkelijk uitmondt in een ongeluk.

1.2.2 Aanpak "Safety Case"

De "Safety Case" is samengesteld omdat in 1989 de "Safety Authority" tot het inzicht kwam dat een analyse van alle veiligheidszaken in en rond de Kanaaltunnel noodzakelijk was. Deze analyses zijn uitgevoerd en vormen de basis van de "Safety Case". De doelstellingen van de "Safety Case" zijn de volgende:

- Aantonen dat de verbinding minimaal even veilig is als vergelijkbare vervoerssystemen.
- Bieden van een framework, waarbinnen Eurotunnel, IGC en de "Safety Authority" prioriteiten kunnen stellen en beslissingen kunnen nemen.
- Beschikbaar krijgen van noodzakelijke informatie voor Eurotunnel en de "Safety Authority"
- Weergave van de interactie tussen het ontwerpproces en de veiligheidscriteria.
- Beschikbaar maken van een levend instrument waarmee de verschillende procedures voor het gebruik kunnen worden ondersteund.

De essentie van de aanpak van de "Safety Case" bestaat uit het beschrijven van het systeem, het identificeren van de mogelijke gevaren, identificeren van de risico's en aangeven van de veiligheidsmaatregelen. Voor deze aanpak is de volgende soort informatie noodzakelijk: [Jones, april 1995]

- Feitelijke informatie over het systeem en haar ontwerpkenmerken, de verschillende functies en onderlinge interactie.
- Onderbouwde argumenten over de kans van optreden en de grootte van potentiële calamiteiten, die van invloed zijn op het systeem en haar gebruikers.
- Een beschrijving van de mogelijkheden om de verschillende calamiteiten te voorkomen of te beheersen.

Individueel risico

Uitgangspunt voor het individuele risico is een vergelijking met conventioneel spoor. In Engeland zijn de verschillende incidenten op conventioneel spoor als volgt onderverdeeld:

- trein-incidenten
- bewegings-incidenten: Incidenten met mensen, veroorzaakt door de beweging van de trein, niet veroorzaakt door de trein-incidenten.
- niet-bewegings-incidenten: Incidenten op het terrein van de spoorwegen, niet veroorzaakt door beweging van treinstellen.

Deze onderverdeling is belangrijk omdat verschillende risico's te wijten zijn aan verschillende oorzaken. Voor de Kanaaltunnel zijn dan ook niet alle typen risico's interessant, zoals bijvoorbeeld het risico van in- en uitstappen op stations voor reizigers in conventionele treinen die door de tunnel rijden. Meer gedetailleerde informatie over ongevallen op het conventionele Engelse spoor is opgenomen in bijlage G.2. [Eurotunnel, 1994]

In Engeland zijn in de periode 1984-1990 ten gevolge van trein-incidenten 69 personen omgekomen en 244 personen ten gevolge van reizigersincidenten (bewegings- en niet-bewegings-incidenten). Van deze 244 ongelukken vonden 99 ongelukken plaats op stations, die dan ook niet meegewogen zijn voor de risico-vergelijking tussen de Kanaaltunnel en het conventionele spoor. Gedurende deze periode zijn $10,4 \cdot 10^9$ treinreizen gemaakt met een totaal van $268 \cdot 10^9$ reizigerskilometers.

Het individuele risico, uitgezonderd het risico op stations, is dan:

$$214/268 \cdot 10^9 = 8,0 \cdot 10^{-10} \text{ doden per reizigerskilometer}$$

$$99/10,4 \cdot 10^9 = 9,5 \cdot 10^{-9} \text{ doden per treinreis}$$

Op basis van gegevens van het conventionele Engelse spoor is een individuele risiconorm opgesteld voor de Kanaaltunnel. Onderscheid wordt gemaakt in individueel risico voor reizigers die in de trein stappen in London, Parijs of Brussel en reizigers die met hun eigen voertuigen de trein ingaan in Folkestone of Sangatta.

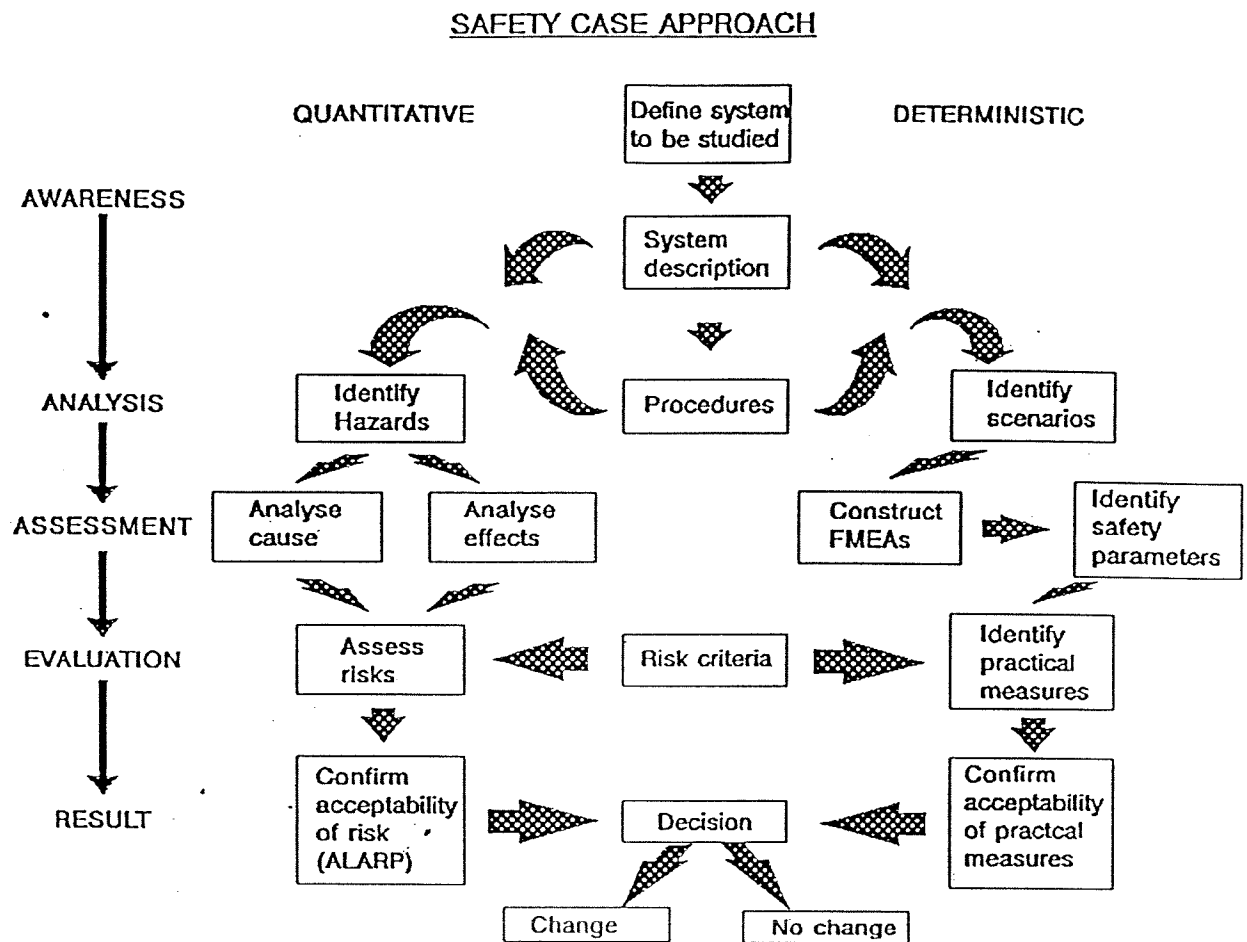
Het individuele risico voor de eerste groep mag niet groter zijn dan $8,0 \cdot 10^{-10}$ per reizigerskilometer of $9,5 \cdot 10^{-9} \cdot 58,5$ kilometer = $4,7 \cdot 10^{-8}$ per treinreis door de tunnel.

Het individuele risico voor reizigers die met hun eigen voertuigen de trein ingaan mag niet groter zijn dan het risico voor de treinreis en het risico voor in- en uitstappen bij conventioneel spoor. Het individuele risico is dan: $4,7 \cdot 10^{-8} + 9,5 \cdot 10^{-9} = 5,6 \cdot 10^{-8}$ doden per treinreis.

Maatschappelijk risico

Het maatschappelijk risiconiveau wordt voor de Kanaaltunnel berekend op basis van gegevens van calamiteiten in het conventionele Engelse spoor. Het resultaat is een F-N curve waarin het groepsrisico van het conventionele spoor is geschaald naar een groepsrisico-niveau voor de Kanaaltunnel.

Voor de Kanaaltunnel wordt gerekend met 30,8 miljoen treinreizen per jaar, gelijk aan $1,8 \cdot 10^9$ reizigerskilometers per jaar. Dit is een factor 18 lager dan het aantal reizigerskilometers op het conventionele Engelse spoor, waarmee de F-N curve van het conventionele spoor geschaald kan worden naar een norm voor de Kanaaltunnel (zie figuur 2). [Jones, april 1995]



Figuur 1: Gecombineerde deterministische & probabilistische aanpak "Safety Case"

1.2.3 Normering Kanaaltunnel

Met een probabilistische methode is een normering voor de Kanaaltunnel tot stand gekomen, waarna het ontwerp volgens de deterministische methode is gecontroleerd op de mate van veiligheid. [Jones, april 1995] De structuur van de ontwikkelde risicocriteria is gelijk aan de benadering voor kernenergie, het transport van gevaarlijke goederen en de offshore-industrie, volgens het UK Health and Safety Executive (zie ook figuur 3.2 in het hoofd rapport).

In deze benadering zijn drie risico-niveaus te onderscheiden: Eén niveau waarboven het risico onacceptabel is, een niveau waarin het risico acceptabel is en met toepassing van het ALARA-principe nog verder gereduceerd kan worden en één niveau waarbeneden het risico acceptabel is. De twee grenzen tussen de drie niveaus verschillen een factor 1000 voor het risico.

De voorzitter van de "Channel Tunnel Safety Authority" stelt dat het individueel risico voor de Kanaaltunnel onacceptabel is als het afwijkt van het individueel risico op een vergelijkbaar bovengronds baanvak van 50 kilometer, tussen bijvoorbeeld Waterloo en Folkstone of Sangatta en Parijs.

Voor iedere individuele actie is een gedetailleerde analyse van de menselijke factoren gemaakt. Deze analyses zijn bedoeld om de totale kansverdeling vast te stellen voor de benodigde tijd tussen de tijdstippen dat:

- De brand wordt gedetecteerd en de trein tot stilstand wordt gebracht in de tunnel (Dit bepaald sterk de omvang van de brand op het moment dat de trein daadwerkelijk stilstaat);
- De brand wordt gedetecteerd en een evacuatie naar de servicetunnel noodzakelijk is;

De verschillende analyses zijn geïntegreerd en m.b.v. een Monte Carlo simulatie geanalyseerd. Resultaat van de analyse is dat het risico van een stopprocedure in de tunnel en het risico bij de tunnel uitrijden zeer laag zijn, waarbij de laatstgenoemde een fractie veiliger is.

Het individuele risico voor reizigers ten gevolge van brand in de goederenshuttle is 12 % van het totale individuele risico voor alle incidenten. Het totale individuele risico is 5 % van het maximaal toelaatbare risico, volgens de normering op basis van statistieken van het conventionele Engelse spoor. [Geyer, april 1995]

1.3 Veiligheidsmaatregelen

Deze paragraaf bevat een korte analyse van de verschillende aspecten in het ontwerp van de Kanaaltunnel die verband houden met veiligheidsoverwegingen.

1.3.1 Tunnelontwerp

De keuze voor een railsysteem als transportverbinding is in sterke mate voortgekomen uit veiligheids-overwegingen. Het spoor is veiliger dan vervoer over de weg. Daarnaast is door het gebruik van twee afzonderlijke buizen met slechts twee ondergrondse wissels het risico voor botsingen sterk verkleind. Beide tunnelbuizen zijn geschikt voor treinverkeer uit beide richtingen waardoor de exploitatie minimaal gehinderd wordt bij onbruikbaarheid van één buis als gevolg van onderhoud.

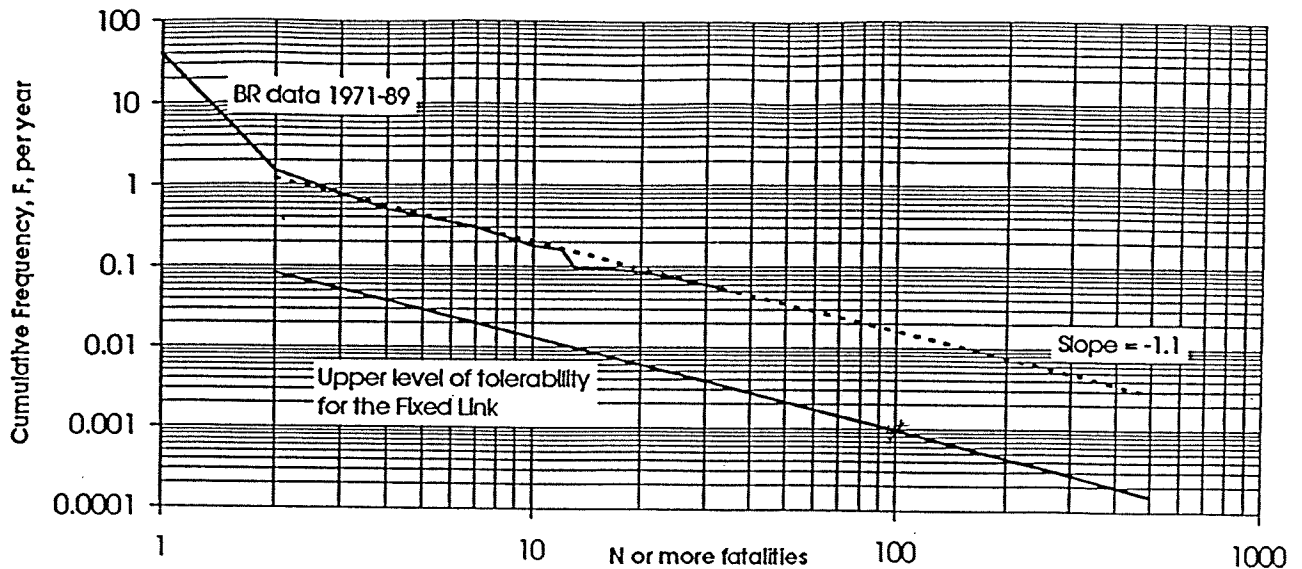
De servicetunnel tussen de twee enkelsporige tunnelbuizen heeft een viertal functies:

- Aanvoer van frisse lucht voor de twee treintunnels.
- Bieden van een veilige vluchtweg bij een calamiteit. In de servicetunnel is de luchtdruk continu hoger om te voorkomen dat rook vanuit een treintunnel binnen kan dringen.
- Toegangsmogelijkheden bieden voor hulpdiensten en onderhoudspersoneel.
- Ruimte bieden aan enige tunnelvoorzieningen zoals brandblussystemen, elektrische aansluitingen en communicatievoorzieningen, etc.

Tussen de treintunnels en de servicetunnel zijn om de 375 meter dwarsverbindingen aangebracht waardoor vluchten van de ene treintunnel naar de andere of naar de servicetunnel mogelijk is. In de twee treintunnels is een evacuatiepad met een leuning aangebracht om de dwarsverbindingen te kunnen bereiken. Aan de andere zijde van het spoor is een inspectiepad aangebracht. In de servicetunnel rijden speciaal ontworpen voertuigen met een maximale snelheid van 100 kilometer per uur. Deze voertuigen worden gebruikt om personeel te vervoeren dat is getraind voor onderhoudswerkzaamheden en hulpverlening. Een centrale controle post bewaakt de exacte locatie van de verschillende voertuigen in de servicetunnel. [Modern Railways, mei 1997]

De beide regeringen hebben Eurotunnel aanbevolen om een servicetunnel tussen de twee treintunnels te construeren om de volgende redenen: [Noulton, oktober 1997]

- De grote lengte van de tunnel.



Figuur 2: Niveau van acceptabel maatschappelijk risico voor de Kanaaltunnel

Het geaccepteerde risiconiveau is een factor 1.000 lager dan het onacceptabele risiconiveau, vergelijkbaar met het individuele risico voor de Kanaaltunnel en de geaccepteerde Engelse normen voor o.a. kerncentrales, volgens het UK Health and Safety Executive.

1.2.4 Beoordeling veiligheid

Met behulp van foutenbomen kan geanalyseerd worden hoe verschillende incidenten zich kunnen ontwikkelen. De ontwikkeling van incidenten is o.a. afhankelijk van de succesvolle implementatie van menselijke factoren tijdens de hulpverlening en het functioneren van de aanwezige beveiligingssystemen. Probabilistische technieken als een foutenboom en een gebeurtenissenboom worden vaak gebruikt om het optreden en de ontwikkeling van incidenten te analyseren.

Het gesignaleerde probleem bij het gebruik van foutenbomen is dat vele menselijke functies slechts moeizaam kunnen worden gekwantificeerd in de noodzakelijke faalcriteria. De betrouwbaarheid van menselijk handelen is sterk afhankelijk van de beschikbare tijd en kan daarom ook beter uitgedrukt worden in een relatie tussen betrouwbaarheid en beschikbare tijd. Beschikbare risico-analyse technieken zoals foutenbomen zijn, volgens Eurotunnel, niet voldoende ingericht om met dit soort functies overweg te kunnen. [Geyer, april 1995]

Case: Eurotunnel HGV shuttle

Met behulp van risico-analyse technieken is een groot aantal cases geanalyseerd en bestudeerd. Een voorbeeld hiervan is de case van een brand in een goederenshuttle, een incident dat daadwerkelijk is opgetreden op 18 november 1996.

Het optredende risico bij een brand in een goederen-shuttle is sterk afhankelijk van de mate van ontwikkeling van de brand in verhouding tot de benodigde tijd om noodprocedures en hulpverlenende diensten in te schakelen. Voor een scenario waarbij een brand ontstaat in een goederen-shuttle die door de tunnel rijdt met de reizigers in het reizigerscompartiment, is een risico-analyse uitgevoerd. Deze analyse beschrijft alle onderlinge acties, waaronder de functies van het controle-centrum, een poging tot loskoppelen van het reizigersgedeelte en de evacuatie van reizigers en personeel naar de service-tunnel (zie bijlage G.3).

Brandblussysteem

Aan beide zijden van de tunnel, zowel aan de Franse als aan de Engelse kant, zijn complete blusperrons aangelegd. In geval van een brand van de trein in de tunnel is procedureel vastgelegd om de trein de tunnel uit te rijden en te stoppen bij een blusperron.

1.3.2 Gebruik van de tunnel

Het gebruik van de tunnel wordt bestuurd door het "Railway Control Center" (RCC), gelegen aan de Engelse zijde met een nevenvestiging aan de Franse zijde. Bovendien zijn aan beide zijden van de tunnel "Fire Equipment Management Centres" ingericht om eventuele branden te detecteren. Bij een alarm wordt het RCC direct ingelicht. De "Fire Equipment Management Centres" worden bemand met brandweerlieden van de brandweer van Kent. Aan beide zijden van de tunnel is een "Incident Control Centre" ingericht met volledige communicatie-apparatuur om in geval van een calamiteit de juiste faciliteiten beschikbaar te hebben. [Eurotunnel, 1994]

Naast het gebruikelijke interne telefoonnetwerk heeft Eurotunnel nog twee systemen geïnstalleerd, een radio op middengolffrequentie en een spoorbaan-radio. De radio op de middengolffrequentie maakt communicatie mogelijk tussen al het personeel van Eurotunnel en is daardoor een essentiële schakel voor de veiligheid.

Brandveiligheid

Eurotunnel heeft veel aandacht geschonken aan het belangrijkste potentiële gevaar; brand. Hierbij is getracht om de kans op brand maximaal te reduceren. In de beide treintunnels zijn in 31 verschillende detectiestations rook- en hittedetectoren aangebracht. Een alarm wordt bevestigd indien beide detectiesystemen afzonderlijk respectievelijk rook en vuur meten en wordt na bevestiging onmiddellijk doorgegeven aan het "Railway Control Centre".

De shuttles bevatten een hoogwaardig branddetectiesysteem, waarmee de "chef de train" de potentiële brand kan identificeren. Wanneer een brand daadwerkelijk ontstaat, zijn twee bestrijdingssystemen direct beschikbaar. In de motorruimte van de shuttle is schuim aanwezig voor gebruik bij een brand. In het uiterste noodgeval kan de trein volledig worden gevuld met een vuurverdringend gas, waarbij wel eerst gecontroleerd moet zijn of alle mensen zijn geëvacueerd.

Het materieel dat wordt gebruikt bestaat uit vuurbestendig materiaal en vormt een barrière van in ieder geval 30 minuten. Dit komt voort uit de gedachte dat de reistijd door de tunnel 24 minuten bedraagt en hierdoor de passagiers door de trein geëvacueerd kunnen worden terwijl de trein zelf de tunnel uitrijdt. De trein de tunnel uit laten rijden wordt geprefereerd boven stoppen in de tunnel.

1.4 Brand in de Kanaaltunnel, 18 november 1996

In tegenstelling tot bijvoorbeeld de Willemspoortunnel is bij de Kanaaltunnel al ervaring opgedaan met een ongeluk met grote gevolgen. In november 1996 ontstond brand in een goederenshuttle, waardoor de tunnel plaatselijk ernstig beschadigd raakte. In deze paragraaf volgt een analyse van de brand in de Kanaaltunnel; een voorbeeld van een calamiteit met een kleine kans en grote gevolgen.

1.4.1 Beschrijving van het incident

Op maandag 18 november 1996, omstreeks 22.00 uur 's avonds, vertrok een goederenshuttle richting Engeland met 29 vrachtwagens aan boord. Ooggetuigen in de Franse vertrekhal waarschuwden het Spoorwegcontrolecentrum dat mogelijk een gedeelte van de lading van de trein in brand stond. Tegelijkertijd werd dit bevestigd door het rookmeldingssysteem in de tunnel. In overeenstemming met de procedures vervolgde de trein zijn reis naar de bestemming. Een tweede waarschuwingssein waar-

- De grote hoeveelheid mensen die tegelijkertijd aanwezig is in de tunnel. Tijdens normale exploitatie bevinden zich in iedere treintunnel ten minste 6 treinen, die gezamenlijk verscheidene duizenden personen vervoeren.
- De publieke perceptie over de veiligheid van het project.
- Het risico van een brand in de tunnel.

Ventilatiesysteem

Het ventilatiesysteem in de Kanaaltunnel bestaat uit twee systemen: Eén voor normaal gebruik en één in geval van calamiteiten. Het normale systeem voorziet de beide treintunnels van frisse lucht door distributiekanaal boven de dwarsverbindingen. Bij elk distributiekanaal zijn twee ventilatoren aangebracht, waarvan één in gebruik is en één dient als reserve. Bij een calamiteit waarbij de rookverplaatsing beheerst moet worden, wordt gebruik gemaakt van twee ventilatoren aan beide zijden van de tunnels. Dit systeem wordt bestuurd door het "Railway Control Center" (RCC) en de luchtstroom wordt geregeld door de stand van de rotorbladen te variëren.

Koelsysteem

De hoeveelheid warmte die vrij komt bij een passage van de trein en de warmte die wordt afgegeven door het materieel is dusdanig groot dat een koelsysteem vereist is. Dit koelsysteem is aangebracht in de twee treintunnels en bestaat uit spiraalvormig aangebracht koelleidingen in de tunnelwand. De leidingen hebben een diameter van 300 of 400 mm en een totale lengte van 120 kilometer. Het systeem wordt gevuld met zeewater dat aan beide zijden van de tunnel gekoeld wordt om de temperatuur in de tunnel tussen de 18 en 30 graden Celsius te houden.

Pompsysteem

Om eventueel aanwezig water in de tunnel te kunnen verwijderen zijn drie grote pompstations geconstrueerd. De kans op zeewaterindringing is zeer klein maar desondanks kan water in de tunnels ophopen door grondwaterlekkage, schade aan waterleidingen, bluswater, lekkage uit treinlading etc. Elk pompstation bevat vier afzonderlijke pompen, waarvan in normaal gebruik slechts twee pompen werkzaam zijn. De derde pomp wordt ingezet bij falen van één van de andere pompen en de vierde pomp is geïnstalleerd om toekomstig onderhoud te kunnen uitvoeren.

Ieder pompstation bevat een detectiesysteem voor gevaarlijke stoffen om te voorkomen dat gevaarlijke stoffen in het afvoersysteem terecht komen. Bij detectie van gevaarlijke stoffen wordt een melding naar het Railway Control Center gezonden, waarna verdere maatregelen genomen kunnen worden.

Electriciteitssysteem

De benodigde elektriciteit voor de bovenleiding en voor de andere systemen wordt geleverd door de Franse en de Engelse energiecentrales. In geval van falen van een van beide centrales is het systeem in de tunnel uitgerust om met beperkte capaciteit te functioneren met slechts één centrale. Bij een gelijktijdig falen van beide systemen worden de essentiële functies overgenomen door dieselgeneratoren.

Signaleringssysteem

Om de kans op menselijke fouten te minimaliseren gebruikt Eurotunnel een automatische treinbeïnvloeding met signalering in de besturingscabine van de trein. Sensoren in het spoor verzamelen de vereiste data om voor iedere afzonderlijke trein de veilige maximale snelheid te bepalen. Indien de treinsnelheid de maximaal veilige snelheid overschrijdt worden automatisch de remmen in werking gesteld. De apparatuur in de trein en langs het spoor is dubbel uitgevoerd waardoor de betrouwbaarheid sterk vergroot is en een veilig gebruik van de tunnel gegarandeerd kan worden.

Op dat moment arriveerde ook de Engelse brandweer, enige tijd nadat de brand was ontstaan omdat de Franse brandweer de beslissing om hulp in te roepen steeds had uitgesteld. De ventilatoren in de tunnel zorgden voor een extra toevoer van zuurstof en pas om 0.06 uur was voldoende watercapaciteit aanwezig om het blussen te starten. De brandhaard bevond zich echter op 250 meter afstand van de desbetreffende dwarsverbinding. Op het moment dat de brandweer arriveerde in de zuidelijke tunnelbuis was het vuur al aan het uitdoven en brandden nog slechts twee vrachtwagens. Een aantal vrachtwagens was geladen met ananas en kaas, dat voldoende vocht bevatte om uitbreiding van het vuur te voorkomen.

1.4.2 Maatregelen naar aanleiding van het incident

Ten gevolge van de brand in de nacht van 18 november 1996 heeft Eurotunnel een aantal procedures aangepast: [Modern Railways, mei 1997] & [Stuifmeel, november 1997]

- Bij de terminals worden de voertuigen beter geïnspecteerd en het personeel wordt beter getraind.
- De deuren bij de wissels van de ene tunnelbuis naar de andere tunnelbuis zijn continu gesloten als de wissels niet in gebruik zijn. In geval van een incident kan hierdoor geen rook in de vrije tunnelbuis ontsnappen, als gevolg van het falen van de deuren.
- Het reizigerscompartiment van de HGV-treinen wordt zoveel mogelijk rookdicht gemaakt, waardoor zo min mogelijk rook het compartiment binnen kan dringen.
- Bij elke dwarsverbinding komt een systeem dat aan de verkeersleiding doorgeeft of een trein aanwezig is waardoor nooit verwarring kan ontstaan over de plaats van de trein.
- Alle meldingen van rook of warmte komen centraal binnen bij de verkeersleiding, waar vervolgens direct maatregelen worden genomen. Treinen mogen de tunnel niet meer in, de drukverbindingen worden gesloten en de deuren ter plaatse van de wissels worden gesloten, als dat nog niet zo is. Het loslaten van het principe van een bevestigd alarm vergroot de kans op valse meldingen tot ongeveer 2 maal per maand.
- In iedere tunnelbuis worden 6 brandblusinstallaties gebouwd, waarmee de gehele treindoorsnede met water kan worden bespoten.
- De bovenleiding wordt hittebestendig gemaakt.

Deze nieuwe maatregelen zijn dusdanig effectief dat in geval van een vergelijkbaar incident als op 18 november de vrachtwagenchauffeurs ongeveer 26 minuten eerder geëvacueerd worden. De brandweer heeft aan Eurotunnel voorgesteld om de afscheiding met tralies op de goederentreinen te vervangen door een volledig gesloten wand. Dit vereist dusdanig grote aanpassingen aan het materieel en aan de beschikbare capaciteit dat de benodigde investering te groot wordt geacht in verhouding tot de veiligheidsopbrengst (zie bijlage G.4).

Het calamiteitenplan voor een brand in een Heavy Goods Vehicle trein had drie niveaus:

1. In eerste instantie probeert de trein de tunnel uit te rijden.
2. Indien de trein de tunnel niet kan uitrijden, stopt de trein en wordt het passagiersgedeelte losgekoppeld van de lading en vervolgt de locomotief met het passagiersgedeelte zijn weg.
3. Indien de eerste twee niveaus niet mogelijk zijn, worden de passagiers geëvacueerd door de service-tunnel.

Deze procedure is ten gevolge van de brand in de tunnel aangepast. Volgens de nieuwe procedures maakt de trein een gecontroleerde stop wanneer een incident optreedt en worden de reizigers geëvacueerd door de service-tunnel. Alleen een shuttle die al dichtbij één van beide uitgangen is, mag zijn weg vervolgen en de tunnel uitrijden (zie bijlage G.5). [Modern Railways, mei 1997]

schuwde de machinist voor een mogelijk defect aan één van de wagons, waardoor de machinist zich genoodzaakt zag de trein in de tunnel tot stilstand te brengen. De trein was inmiddels 18 kilometer verwijderd van de vertrekhal en de evacuatieprocedure werd in gang gezet. Alle 31 passagiers en 3 personeelsleden werden met succes door de servicetunnel naar de andere tunnelbuis geëvacueerd. In deze tunnelbuis was, ten behoeve van een snelle evacuatie, een trein tot stilstand gebracht. Uiteindelijk was zeven uur na de eerste detectie van de brand, de brand onder controle van de brandweer. De uiteindelijke schade aan de tunnel en de exploitant wordt geraamd op ongeveer 1 miljard gulden. De uitgebrande treintunnel is 7 maanden buiten gebruik geweest voor herstelwerkzaamheden (zie bijlage G.4). [Cement, november 1997]

De brand is naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door sabotage met bengals vuur. De twee achterste vrachtwagens vervoerden respectievelijk varkensvlees en polystyreen, waarvan één van beide in brand gestoken is. Een op het terrein aanwezige spoorjongen ontdekte bij toeval de brand en waarschuwde de verkeersleiding. In het calamiteitenplan is opgenomen dat indien een trein in brand staat, de tunnel zo snel mogelijk verlaten moet worden. [Stuifmeel, november 1997]

Om te voorkomen dat de exploitatie te vaak wordt beïnvloed door valse meldingen wordt een melding pas bevestigd wanneer door dezelfde detector in de tunnel onafhankelijk rook en vuur gedetecteerd wordt. Het alarm werd bevestigd op het moment dat de trein meer dan 5 kilometer in de tunnel was en met een snelheid van 140 km/uur reed. Op dat moment startte de verkeersleiding de noodprocedures. [Modern Railways, mei 1997]

Geen enkele trein mocht de tunnel meer inrijden en de drukverbindingen om de 250 meter werden afgesloten. Helaas faalde één afsluiting, waardoor toch enige rook in de andere tunnelbuis doordrong. De rookvrije deuren ter plaatse van de wissels konden niet goed gesloten worden, doordat de treinen met een te grote snelheid reden en daardoor de drukwisselingen te groot waren. Alle treinen die zich in de tunnel bevonden moeten 30 km/uur rijden om het druksysteem goed af te sluiten om zo te voorkomen dat de rook in de andere tunnelbuis doordringt. [Stuifmeel, november 1997]

Wanneer de treinen geladen worden met de vrachtwagens wordt gebruik gemaakt van stempels die na gebruik ingeklapt worden. Een systeem waarschuwt de machinist wanneer deze stempels niet goed zijn ingeklapt en daardoor de kans op ontsporing toeneemt. Ten gevolge van de brand is kortsluiting ontstaan in de bedrading van dit systeem, waardoor de machinist een stopmelding kreeg.

De machinist van de trein heeft de trein gecontroleerd tot stilstand gebracht naast een dwarsverbinding, zoals is voorgeschreven in de verschillende procedures. De machinist heeft echter niet gekeken wat het nummer was van de desbetreffende dwarsverbinding, waardoor niet bekend was waar de trein stilstond.

Het personeel in het reizigerscompartiment probeerde te ontdekken wat de oorzaak was van de noodstop in de tunnel en opende de treindeur, waardoor een grote hoeveelheid rook binnendrong. Ondertussen probeerde de brandweer te berekenen waar de trein zich bevond en vervolgens openden zij de volgende tussenverbindingsdeur, in opdracht van de verkeersleiding. Doordat in de dwarsverbindingen enige overdruk heerst, stroomde frisse lucht de tunnelbuis in. De rook verdunde zich waardoor het personeel in het reizigerscompartiment de dichtsbijzijnde dwarsverbinding opmerkte. Het treinpersoneel evacueerde vervolgens de reizigers door de dwarsverbinding, waar op dat moment de brandweer aankwam, die vervolgens de machinist in veiligheid bracht. De laatste trein in de naastgelegen buis, een shuttle met reizigers, werd tot stilstand gebracht en de reizigers werden naar het uiteinde van de tunnel vervoerd. In deze tunnelbuis was ook enige rook doorgedrongen waardoor lichte paniek ontstond bij de reizigers in de shuttle en onder de geëvacueerde chauffeurs.

Ondanks de systematische aanpak heeft al een groot incident plaats gevonden. De brand in de Kanaaltunnel maakt duidelijk dat een aanvullende probabilistische en deterministische benadering zeer belangrijk is. Daarnaast betekent omgaan met veiligheid, dat vanuit een groot aantal multidisciplinaire teams conceptueel en strategisch naar het ontwerp en de gebruiksprocedures gekeken moet worden.

Brand in de Kanaaltunnel

De brand van 18 november 1996 heeft de integriteit van de tunnel niet direct in gevaar gebracht. Het omliggende gesteente van de tunnel in de buurt van de brand bestaat uit kalk dat nagenoeg ondoordringbaar is, waardoor geen grote schade is ontstaan. In de Nederlandse omstandigheden, de slappe grond en hoge grondwaterstand, zal een soortgelijke brand grote gevolgen hebben voor de integriteit van de tunnel.

Met behulp van risico-analyses is in de ontwerp-fase van de tunnel besloten om in geval van een calamiteit de trein de tunnel uit te laten rijden. De risico-analyses toonden een marginaal verschil tussen het risico voor in de tunnel stoppen en evacueren en het risico van de tunnel uit rijden. Het doorrijden van de trein op 18 november 1996 veroorzaakte een aantal problemen:

De brand sloeg snel over door de snelheid van de trein, waardoor de brandweer uiteindelijk zes brandhaarden te bestrijden had. Het blussen van zes brandhaarden in het midden van de tunnel is te kwantificeren als een groter gevolg in vergelijking met het blussen van één brandhaard aan het begin van de tunnel.

Het resultaat van het vervolgen van de weg was alleen negatief, de trein moest alsnog stoppen verder van de tunnel-ingang en de beschikbare evacuatietijd voor de reizigers was minder geworden.

Het controlecentrum, het brandweerpersoneel en het treinpersoneel wist niet op welke plaats de trein in de tunnel stilstond.

Na evaluatie van het ongeluk is het veiligheidsregime door Eurotunnel aangepast en versterkt. Bij een calamiteit maakt de trein een gecontroleerde stop in de tunnel en worden alle passagiers geëvacueerd. Indien een trein dichtbij het uiteinde van de tunnel is, wordt geen gecontroleerde stop gemaakt maar rijdt de trein de tunnel uit.

Deze aanpassing lijkt een verbetering maar is niet volledig eenduidig. Belangrijk is om goed af te spreken bij welke calamiteit gestart wordt met een gecontroleerde stop en vanaf welke afstand de trein de tunnel uitrijdt. Een gecontroleerde stop heeft een aantal voordelen, meer evacuatieminuten, meer tijd voor brandbestrijding en bovendien ontstaan minder brandhaarden. Een belangrijke parameter voor de keuze tussen gecontroleerd stoppen en doorrijden kan zijn, de geschatte verblijfstijd in de tunnel (afhankelijk van de treinsnelheid) en maatgevende tijd tussen brandmelding en noodzaak tot gedwongen stop door een defect van een essentieel onderdeel.

Het ongeluk laat zien dat een snelle melding, een gestructureerd eenduidig plan van handelen en een goede communicatie met voldoende informatie voor alle betrokkenen in de toekomst een grote bijdrage kan leveren aan de veiligheid van de Kanaaltunnel. De beschikbaarheid van de juiste informatie bij brandweer, controle centrum en treinpersoneel blijkt een cruciale schakel voor de veiligheid.

De gevolgen van het doorrijden bij een calamiteit in de Kanaaltunnel worden versterkt door het open concept van de wagons voor vrachtwagens. Deze open bakken bevorderen het overslaan van de brand. Overslaan van de brand komt bij een gesloten reizigerstrein minder snel voor.

1.5 Analyse veiligheid; een kritische beschouwing

Een belangrijk aspect van de veiligheidsfilosofie bij de Kanaaltunnel is het internationale karakter. Het ontwerpen van de Kanaaltunnel vereiste een samenwerkingsverband tussen de verschillende betrokken partijen uit de beide landen. Deze samenwerking heeft onder andere geleid tot een gecombineerde probabilistische en deterministische benaderingswijze van veiligheid. Een gedwongen samenwerking tussen een aantal partijen met verschillende visies vormt een goede basis voor een doordacht eindresultaat; een veilig ontwerp van de Kanaaltunnel.

Tijdens het ontwerp is gebruik gemaakt van een "Safety Case". Dit levend document is voortgekomen uit een behoefte aan overzichtelijkheid en duidelijkheid en is van grote waarde voor de beheersing en ontwikkeling van de veiligheid in het ontwerpproces en tijdens het gebruik van het systeem.

De internationale samenwerking en het gebruik van de "Safety Case" maken dat veiligheid in het ontwerp van de Kanaaltunnel gedegen is meegenomen.

Als uitgangspunt voor de veiligheidsnormering voor de Kanaaltunnel wordt de statistiek van het conventionele Engelse spoor gehanteerd. Het groepsrisico en het individueel risico bij de Kanaaltunnel moet vergelijkbaar zijn met de normen voor het conventionele spoor.

Hierbij wordt voorbij gegaan aan de verschillen tussen een tunnel en bijvoorbeeld een aardebaan. Dit veroorzaakt een innovatieve benadering in het groeprisico en een behoudende benadering voor het individuele risico. Uitgaande van de gedachte dat het maatschappelijk risico in een tunnel vrij snel groter is dan het maatschappelijk risico buiten de tunnel, neemt deze één op één vergelijking een sterke verbetering van de veiligheidsperceptie met zich mee.

Daarbij moet wel gezegd worden dat een tunnel van meer dan 50 kilometer niet langer als een klein stuk spoor met een hoger risico gezien kan worden, maar als een op zichzelf staand stuk spoor. Met andere woorden, de perceptie van een lange ondergrondse transportverbinding vereist misschien wel een grote investering om het maatschappelijk risico vergelijkbaar te maken met een conventionele aardebaan.

Na het uitvoeren van de risico-analyse blijkt dat het totale individuele risico slechts 5 % is van het maximaal toelaatbare risico volgens de normering op basis van de statistieken van het conventionele Engelse spoor. Voor het individuele risico wordt onderscheid gemaakt in twee type gebruikers: Volledige treinreizigers en reizigers met een eigen vervoermiddel. Uitgangspunt is dat het individuele risico in de tunnel niet mag afwijken van het individueel risico op een vergelijkbaar baanvak.

Bij het uitvoeren van de verschillende risico-analyses constateert Eurotunnel dat de betrouwbaarheid van menselijk handelen sterk afhankelijk is van de beschikbare tijd. Dit kan daarom ook beter uitgedrukt worden in een relatie tussen betrouwbaarheid en beschikbare tijd. Risico-analyse technieken zoals foutenbomen zijn, volgens Eurotunnel, niet voldoende ingericht om met dit soort functies omweg te kunnen. Deze constatering wijst nogmaals op de noodzaak om veiligheid niet vanuit één discipline te benaderen, maar multidisciplinair.

Het ontwerp van de Kanaaltunnel bevat een groot aantal veiligheidsmaatregelen zoals een brandblussysteem, beveiligingssysteem, pompsysteem, ventilatiesysteem etc. Deze systemen bevatten een grote mate van redundantie om daarmee de faalkans te verkleinen. De publieke perceptie is in eerste instantie de oorzaak geweest van de aanleg van de servicetunnel. Eurotunnel heeft in een vroegtijdig stadium beseft dat het publieke imago over de veiligheid van het project zeer belangrijk is en absoluut niet discutabel mag zijn. Dit is één van de redenen om een servicetunnel op te nemen in het uiteindelijke ontwerp en waaruit duidelijk blijkt dat perceptie van veiligheid een grote rol speelt in het ontwerpproces.

Wagons of the same rake are separated by fire barriers which are kept closed throughout the journey. These barriers have doors allowing passengers to enter the adjacent wagons.

A Eurotunnel attendant, also called a Shuttle Attendant, is responsible for closing the fire barriers as soon as the operations of parking the vehicles inside each wagon are completed. At the end of the journey, the drivers disembark via the front of each rake onto the adjacent platform.

b. HGV shuttles

1. Composition of an HGV shuttle :

- . 2 rakes of :

- 14 carrier wagons
 - 1 loading wagon at each end.

- . 1 electric locomotive at each end of the shuttle.

2. Capacity of an HGV carrying wagon :

A semi-trailer tractor with a maximum weight of 44 metric tons

Clearance height for the vehicle to be loaded : 4.2m

Clearance width : 2.6m

Available length : 18.5m

The carrier body is of the half-open type, with perforated walls made of frames giving added strength to the structure; it is covered with a roof.

3. Loading an HGV shuttle :

Unlike tourist vehicles and coaches, HGVs and their crew are separated during the journey. The drivers and their passengers travel in an amenity coach called a "club car", normally at the front and exceptionally at the rear of the shuttle, offering a level of comfort comparable to that of conventional 1st class rail coaches.

c. Eurotunnel electric locomotives

The shuttle is linked to two locomotives, one at the front and one at the rear, enabling it to reverse. The 25 Kv, 50 Hz electrical supply of the locomotives is provided by the overhead line. The maximum constant power rating of a locomotive is 5600 Kw.

In the event of the breakdown of one of the locomotives, the other locomotive is capable of bringing out the complete shuttle. The main cab of each locomotive has the driver's console on the left and the Chef de Train's console on the right.

Bijlage G.1: Materieel Kanaaltunnel

List of the Eurotunnel trains:

- . tourist shuttles
- . HGV shuttles
- . work trains.

a. Tourist shuttles**1. Composition of a tourist shuttle :**

- . a rake consisting of 12 single-deck carrier wagons and a loading wagon at each end
- . a rake consisting of 12 double-deck carrier wagons and a loading wagon at each end
- . 1 electric locomotive at each end of the shuttle.

2. Capacity of a double-deck carrier :

10 cars whose overall height is less than 1.85m (clearance height 2m, available length 23.5m).

3. Capacity of a single-deck carrier :

5 cars, or 1 coach, or 2-3 minibuses, or a combination of these vehicles.

Clearance height for the vehicles to be loaded	:	4.2m
Clearance width	" "	2.5m
Available length	" "	23.1m

4. Loading a tourist rake

The drivers load their own vehicles via side doors at the rear of each rake and advance up to the parking point indicated to them.

Cars reach the upper level of the double-deck wagons via internal ramps inside the loading wagons. The double-deck rakes have internal stairs and toilets in every third wagon.

Drivers and passengers may remain with their vehicle during the 35-minute journey. The wagons are lit, heated and air-conditioned. Exhaust gases are purged after loading.

Coaches load via the rear of each single-deck rake and then advance in the shuttle up to the parking point. Passengers may remain in the coach during the journey.

Under normal circumstances, for the tourist shuttles the driver is in the front locomotive, the Chef de Train in the rear locomotive; for the HGV shuttles, the Chef de Train is in the "club car". They communicate via the shuttle's internal intercom system.

The main task of the Chef de Train is to supervise the loading/unloading operations of the shuttles and to look after the safety of the passengers. He is qualified to drive a locomotive if necessary.

d. Work trains

The routine maintenance of the track and the fixed equipment in the tunnel is carried out using work trains : five rakes are provided with container-carrying wagons selected according to the work to be performed and two 940kW diesel locomotives at either end (one at the front and one at the rear) each having a scrubber wagon, which chemically treats the exhaust gases in order to keep the level of pollutant gases within the prescribed acceptable limits. Each rake has its own power and lighting source.

2.2.2.3. The rolling stock of national trains

There are three types of railways trains :

- Trans Manche high speed trains
- Night trains
- Freight trains.

These trains will utilise rolling stock built to the British rail structure gauge, a gauge which is smaller than that of the SNCF and a fortiori that of Eurotunnel.

a. Trans Manche high speed trains (Eurostar)

Composition of a rake :

The Eurostar high speed trains have two identical half-rakes each consisting of a power car and nine coaches for trains up to London, and seven coaches for trains beyond London.

The front bogie of the coach adjacent to the engine also being motorised, the constant maximum rated power is 6600kW per half-rake.

In the event of the breakdown of one of the power cars, then the other power car is capable of bringing the Eurostar rake out of the tunnel, (even if the motorised bogies of the adjacent coaches are not available).

These trains travel on the London-Paris and London-Brussels lines and can transport 794 passengers in 1st and 2nd class coaches.

The coaches are lit, heated and air-conditioned and there are two restaurant coaches.

2.2.1.8. Terminal Public Address system

The Folkestone and Coquelles Terminals each have their own Public Address system operating independently of one another under the control of their respective TCC.

The areas served are:

- tolls
- parking areas (light vehicles, HGVs)
- allocation and loading up to the platforms
- emergency sidings
- administrative/public buildings.

Local microphones can be used at the tolls and at the frontier controls.

2.2.2. The Rail System

2.2.2.1. Function of the rail system

The rail system is concerned with two types of traffic :

- the Eurotunnel shuttles transporting road vehicles and their drivers, with their passengers, their luggage, freight
- the Railways' trains transporting passengers, luggage, freight.

a. Eurotunnel shuttles

The rail system must ensure:

- . the loading aboard the shuttles of the road vehicles on the departure platforms
- . the transit of the shuttles via the tunnel
- . the unloading of the vehicles onto the arrival platforms.

b. Railway trains

The rail system must ensure:

- . their arrival from the original railway networks
- . their transit through the tunnel
- . their release to the destination railway networks.

Bijlage G.2: Overzicht ongevallen conventioneel Engels spoor

Table 6.2.5.1: GB Railway Passenger Fatalities and Major Injuries by Cause

K = Killed MI = Major Injuries

Accident description	1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1984 - 1990	
	K	MI	K	MI	K	MI	K	MI	K	MI	K	MI	K	MI	%K	%MI
Train Accidents																
Collisions between:																
Passenger trains or parts thereof	1		28		20		2		34	74	6	35			40	13%
Passenger trains and freight trains or light locomotives	5	4			12		3							5	2%	
Trains and vehicles standing foul of the line														0	0%	
Trains and vehicles standing at buffer stops	5		2		1		5				4		1	0	0%	
Trains and buffer stops or vehicles standing at buffer stops	1						1							0	0%	
Trains and projections from other trains or vehicles on parallel lines	13	17			3	3			1					16	5%	
Derailments of passenger trains															0%	
Trains running into obstruction														8	3%	
at level crossings					8	8								0	0%	
elsewhere							2						1	0	0%	
Fires in trains														0	0%	
Other accidents			1											0	0%	
Sub-total	18	28	0	31	8	44	3	13	34	75	6	39	0	13	69	22%
Movement Accidents																
Entering or alighting from trains	3	27	6	25	3	23	5	28	5	61	2	51	2	56	26	8%
Falling off platforms and being struck or run over by trains	3	2	6	1	6	5	2		5	16	1	4	10	8	33	11%
Crossing the line at stations					2		1		2		1	1	1	2	2	1%
Opening or closing of carriage doors at stations	4		2				8		3		5		1	13	1	0%
Falling out of carriages during the running of trains	14	11	16	8	12	15	26	16	19	13	19	16	19	9	125	40%
Other accidents	1	8	3	6	2	17	3	27	5	17	2	20	4	20	20	6%
Sub-total	21	62	31	42	23	70	36	80	34	102	25	97	37	107	207	65%
Non-Movement Accidents																
Ascending steps and escalators at stations	14	2	20		10		1	19	1	22	2	36	2	30	8	3%
Being struck by barrows, falling over packages, etc.	5		4		2		1		6		5		6	6	0	0%
Falling off platform onto line			1		2		1		2		3		0	0	0	0%
Electric shock on electrified railways					1	1	1		1		1		0	2	1	0%
Other accidents	16		26		40	28	62		101		88		0	66	28	9%
Sub-total	0	35	2	51	1	65	29	84	1	132	2	132	2	104	37	12%
Total	39	115	33	124	32	169	68	177	69	309	33	268	39	224	313	100%

b. Night trains

These trains provide non-stop passenger services between the main towns served by the Continental and British rail networks. They will be equipped with the "Class 92" locomotive specially designed to travel on the Eurotunnel network, the British network and the French network adjacent to the tunnel up to the station of Frethun (near Calais), where the change of locomotive will take place. The constant power rating of the Class 92 is 5000 Kw when it is powered by 25 Kv provided by the Eurotunnel overhead line. The night trains will be equipped with a Class 92 locomotive at each end for the tunnel crossing.

c. Freight trains

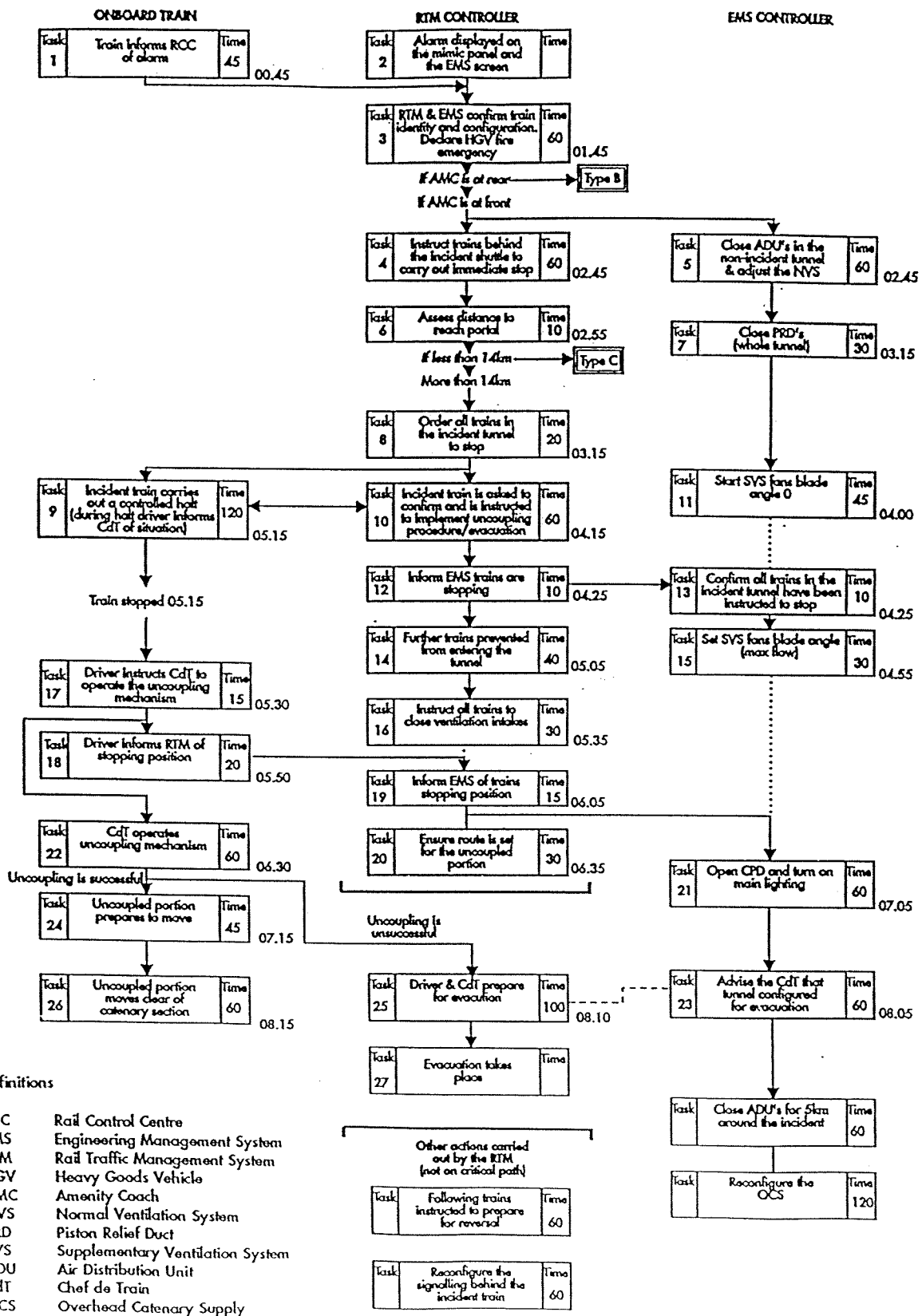
The general features are the same as for the night trains apart from the locomotives position: the freight trains will be powered by one or two Class 92 locomotives, coupled at the front end only.

As the Class 92 locomotives are not available now, class BB22 200 SNCF locomotives have been modified for tunnel operation and are utilised in multiple units for the opening of the service.

Bijlage G.4: Artikel Cement: Brand in de Kanaaltunnel

**Bijlage G.5: Artikel Modern Railways: Eurotunnel's fateful night,
What actually happened!**

Bijlage G.3: Gebeurtenissenboom brand in een goederenshuttle



brandblusapparaten en andere brandbeheersingsmiddelen, die tot doel hebben ervoor te zorgen dat de trein veilig naar de aankomstterminal kan rijden.

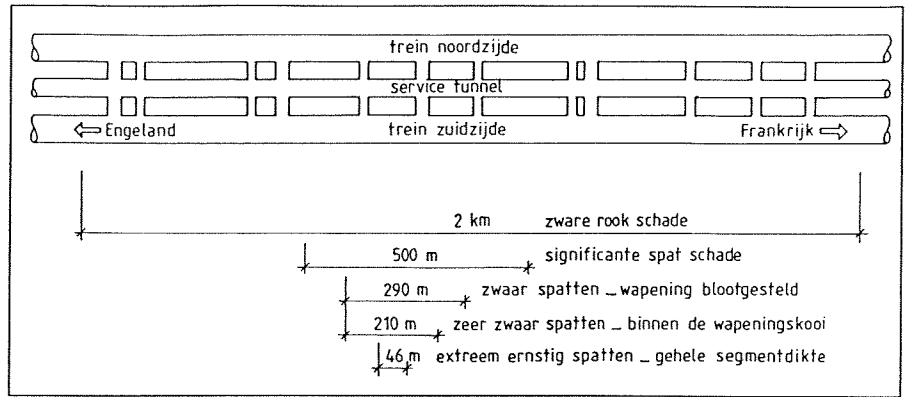
De shuttlewagens die zware vrachtwagens zouden moeten vervoeren, leverden tijdens de ontwerpfase bijzondere problemen op als gevolg van sommige eisen die door beide regeringen aan het verkrijgen van een vergunning werden gesteld. Ten eerste werd de concessiehouder verplicht voertuigen te kunnen transporteren met het maximum toelaatbare gewicht binnen de Europese Unie (44 ton). Ten tweede moest het ontwerp 'robust' zijn, waarmee werd bedoeld 'niet buiten de huidige praktijk (1985)'. Momenteel is over heel de wereld de zwaarste last per treinas 22 ton; het probleem is dus duidelijk. Rekening houdend met enige overbelading per voertuig, en daaraan toegevoegd het gewicht van de wagon zelf, was het zelfs met de lichtste materialen die beschikbaar zijn, niet mogelijk om een dichte wagon te ontwerpen die een brand een half uur kon tegenhouden.

De enige manier om uit dit dilemma te geraken, overeengekomen met de veiligheidsautoriteiten, was om een halfgesloten wagon te ontwerpen waarin de vrachtwagens zouden worden vervoerd. De bestuurders zouden dan in een speciale personenwagon worden vervoerd, die wél gedurende een half uur bescherming tegen brand zou bieden. Voorts werden er door de gehele tunnel rookdetectoren geplaatst die met een centrale meldkamer werden verbonden en werd het gebruikelijke spoorwegprotocol gevolgd, namelijk dat een brandende, rijdende trein nooit in een tunnel mag stoppen.

De brand

De brand brak uit in één van de vrachtwagens op de trein, vóórdat de trein de tunnel binnenreed. De oorzaak van de brand wordt nog steeds door de Franse autoriteiten onderzocht. De brandende trein reed door achttien kilometer tunnel zonder enige schade aan te richten, vooraleer hij door een tweede waarschuwingssignaal tot stoppen werd gebracht; een signaal dat trouwens nadien verkeerd bleek te zijn.

Gedurende de zeven uur die verstreken tussen het tijdstip waarop de trein tot stilstand kwam en het tijdstip waarop de brand uiteindelijk werd gedoofd, liepen de betonnen tunnelwand en de meeste installaties in de tunnel aanzienlijke schade op, ook al gold dit in het algemeen slechts de bovenkant (fig. 1).



① Overzicht van de schade aan de constructie

In de haard van de brand was de schade aan de tunnelwand extreem. Over een afstand van ongeveer 46 m was het beton over meer dan de helft van de oorspronkelijke dikte gespat. Op sommige plaatsen was de tunnelwand zelfs geheel weg, waardoor de wapeningskooien helemaal bloot waren komen te liggen. Over een lengte van 210 m was de schade zeer ernstig, waarbij de tunnelwand voor de helft was verdwenen.

Over een lengte nog eens 80 m was één laag wapening bloot komen te liggen en over een verdere lengte van 210 m was er sprake van aanzienlijke spatschade, zodat voor in totaal 500 m tunnel aanzienlijke reparatiewerkzaamheden noodzakelijk waren. Over een totale afstand van 2 km vertoonde de tunnelwand de duidelijke gevolgen van rook.

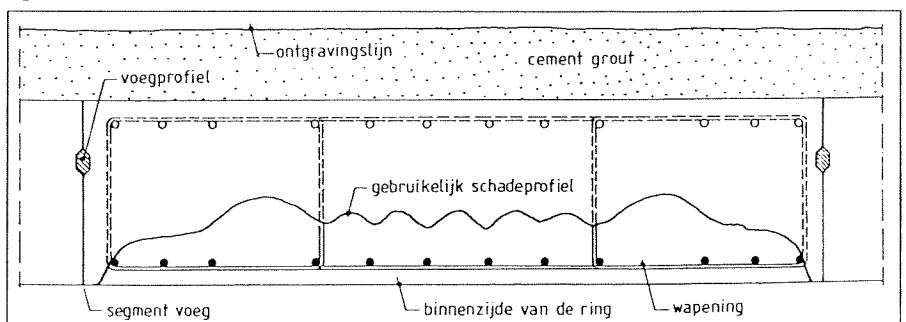
Gedetailleerde inspectie van de beschadigde tunnel na de brand bracht enige interessante feiten aan het licht, waarvan een aantal momenteel nog niet volledig is verklaard. De beweging van de brandende trein zorgde ervoor dat het vuur naar het achterste gedeelte van de trein werd verspreid; een op zichzelf acceptabele situatie voor zover het de constructie van de tunnel betreft. Toen de trein echter tot stilstand was gebracht, kwam men tot de ontdekking dat er ongeveer zes branden waren die men het hoofd moest bieden, als gevolg van branden die in de afzonderlijke voertuigen waren ontstaan.

De werkelijke schade die aan het beton van de tunnelwand was toegebracht varieerde aanzienlijk en werd beïnvloed door zowel de aanwezigheid van wapeningsstaal als door de voegen tussen de tunnelwandsegmenten (fig. 2). Twee koelwaterbuizen \varnothing 400 mm, die circulerend ijswater bevatten, waren intact gebleven, ondanks de aanzienlijke schade aan de tunnelwand waaraan ze waren bevestigd. Het koelwater, dat normaal naar de koelinstallatie teruggaat met een temperatuur van 3 °C, had nu een temperatuur van 38 °C! De koelwaterbuizen moesten over een lengte van 500 m worden vervangen.

Op de plaats van de brand bestaat het omliggende gesteente van de tunnel uit kalk, dat nagenoeg ondoordringbaar is. Met uitzondering van de betonnen tunnelwand, die tijdens de brand in hele kleine stukjes was gespat (maximale grootte 5 mm), is geen enkel gedeelte van de constructie ingestort; daartoe bestond ook geen enkele dreiging.

Colin J. Kirkland werkte voor het eerst aan het Kanaaltunnelproject in 1959, toen hij deel uitmaakte van de Channel Tunnel Study Group. Ook was hij betrokken bij een poging om de Kanaaltunnel te verwezenlijken in de periode 1973-1975. Hij was Technisch Directeur van Eurotunnel vanaf de offerteverbereiding in 1985 tot aan de afronding van het boorproces in 1991. Sindsdien is hij werkzaam bij Sir William Halcrow & Partners Ltd als Directeur Ontwikkeling.

② Doorsnede over een beschadigd segment



Colin J. Kirkland, OBE F. Eng

De Kanaaltunnel, die Engeland met Frankrijk verbindt, bestaat uit drie geboorde tunnels: twee tunnels voor treinverkeer en een servicetunnel daartussenin. De servicetunnel dient voor onderhoud en, in noodsituaties, voor de evacuatie van passagiers.

Op 18 november 1996 was sprake van zo'n noodsituatie, toen er brand ontstond in een goederentrein. Dit artikel gaat in op de gebeurtenissen tijdens de brand, het onderzoek naar de schade en de resterende betonkwaliteit. Ten slotte wordt een globale omschrijving gegeven van de herstelwerkzaamheden.

DE BRAND IN DE KANAALTUNNEL

Een paar minuten voor tien uur op maandagavond 18 november 1996 vertrok van het laadperron in Frankrijk een goederentrein met 29 vrachtwagens aan boord op weg naar Engeland. Ooggetuigen in de Franse vertrekhal waarschuwden het Spoorwegcontrolecentrum dat er mogelijk brand aan boord was; tegelijkertijd werd deze melding bevestigd door de activering van rookmelders in de tunnel. In overeenstemming met de normale procedures in een spoortunnel vervolgde de trein zijn reis naar zijn bestemming. Echter, een tweede waarschuwings-signaal, dat in de bok bij de machinist werd geactiveerd, attendeerde op een mogelijk defect aan één van de wagons, waardoor de machinist zich genoodzaakt zag de trein in de tunnel tot stilstand te brengen.

De trein was inmiddels achttien kilometer van de Franse vertrekhal verwijderd en de evacuatieprocedures werden geactiveerd. Dat resulteerde in de veilige evacuatie van alle 31 passagiers en van de drie bemanningsleden van de trein. Via de servicetunnel werden zij naar een passagierstrein gebracht, die in de andere tunnel speciaal voor dat doel tot stilstand was gebracht. De brand werd vervolgens door brandweerteams bestreden en om vijf uur de volgende morgen werd het sein brand meester gegeven.

Op de plaats van de brand is de tunnel uitgevoerd met geprefabriceerde betonnen ringsegmenten; de ruimte tussen segmenten en de achterliggende grijze kalk is opgevuld met een cementgrout.

Het ontwerp van de tunnelwand

Het originele tunnelwandontwerp is gebaseerd op de gangbare ontwerpmethoden voor het toepassen van tunnelwandsegmenten. Tevens is rekening gehouden met volledig geladen en te zwaar beladen treinen en met de mogelijkheid van kleine aardbevingschokken.

De duurzaamheid van de tunnelwand, met name met betrekking tot de wapening, is uitvoerig onderzocht, waarbij rekening is gehouden met het feit dat de tunnels zich in een agressieve, zoute omgeving bevinden. Na veel discussie over de voor- en nadelen van het coaten van wapening is besloten om niet te coaten, maar om een extra betonnen deklaag aan te brengen, en om voorzieningen te treffen voor kathodische bescherming in geval van chloride-aantasting.

Het ontwerp schreef hogesterktebeton voor, met een druksterkte van 55 MPa na 28 dagen en 60 MPa na 90 dagen. Voor de verharding van de segmenten is gebruik gemaakt van vermalen kalksteen en Boulonnais zand. Uiteindelijk werd 70 tot 90 MPa bereikt. Dit gegeven kwam later, bij het ontwikkelen van een reparatieplan voor de beschadigde tunnelwand, goed van pas.

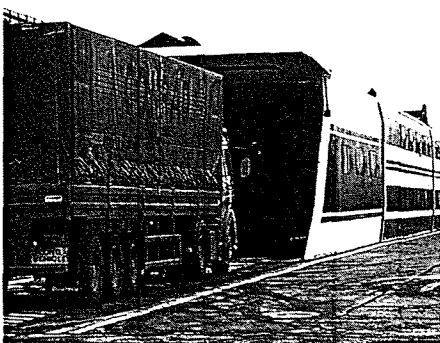
Bij het ontwerp werd niet speciaal rekening gehouden met de bescherming van de tunnelwand tegen brandrisico's; de kans op een aanzienlijke brand werd onwaarschijnlijk geacht vanwege het ontwerp van de wagons en de bedrijfsprocedures.

De beheersing van de brand en het bluswerk

De ontwerpers van het treinsysteem waren zich zeer bewust van het gevaar van mogelijke branden in de tunnel; sterker nog, dat was één van hun voornaamste zorgen. Een studie naar de beschikbare statistieken over het spontaan ontstaan van brand bij motorvoertuigen had uitgewezen dat personenauto's een groot risico vormen, en vrachtauto's slechts een klein.

De passagierstreinen en personenwagons zijn zo ontworpen, dat ze een eventuele brand gedurende een half uur kunnen tegenhouden; dat is de geplande reistijd door de tunnel. De wagons zijn tevens uitgerust met

Vrachtwagen rijdt een shuttlewagon binnen



Eurotunnel's fateful night

What actually happened



The 18 November 1996 had not begun well for Eurotunnel. A dispute with staff on the French side of the tunnel had led to frayed tempers and traffic being held up. Lorries and cars had been standing around at the Coquelles terminal for hours, including one particular vehicle laden with cornflakes bound for the UK. As the evening wore on, the cornflakes lorry at last got clearance - two hours after it had arrived at Coquelles - to load on to one of Eurotunnel's HGV (Heavy Goods Vehicle) shuttles. After parking his vehicle on one of the lattice-work-sided shuttle wagons, the driver wearily climbed up into the amenity coach (AMC) at the front end of the train for the half-hour-plus ride to England.

At 21.42 French time (as all the times that follow), the train, loaded with 29 HGVs, left the terminal and headed for the tunnel mouth. Seven minutes later, it entered the tunnel - there had been a slight delay as the train had been following close behind another departure and the signalling system imposes a 4km gap between HGV trains, to ensure that, in the event of a fire, trains following one on fire are not immediately shrouded by smoke.

As it approached the tunnel, a security man guarding the entrance to the tunnel saw, in his words, 'fire licking over the top of the train'. Quite properly, he immediately

advised his supervisor of this fact, who in turn advised the Coquelles control centre, which in its turn advised Eurotunnel's railway control centre (RCC) in Folkestone.

As the train drove further into the tunnel, it activated the first smoke detector in the tunnel - 1km from the portal. This sent an 'unconfirmed' alarm to the fire management centre (FMC) near Folkestone (there are two such centres, but the one at the French end is a back-up facility only used in the event of problems with the main centre). Following the rules, the FMC did nothing at this point. The FMC was only supposed to advise the RCC in the event of a 'confirmed' alarm.

To cut down on disruption due to false alarms, one alarm signal was not enough to trigger any action. There had been a problem with dust in the tunnel, and disturbed dust could simulate smoke - Eurotunnel did not want to bring the service to a halt every time a bit of dust blew up. The sophisticated sensors could detect smoke and flame individually, and the rule was that both had to be confirmed to trigger an alarm. So if a single sensor caught both smoke and flame together, that would be a 'confirmed' alarm - as it would if one sensor caught smoke and the

subsequent one caught fire. But if, say, three alarms in a row registered smoke only, that would not have been a 'confirmed' alarm.

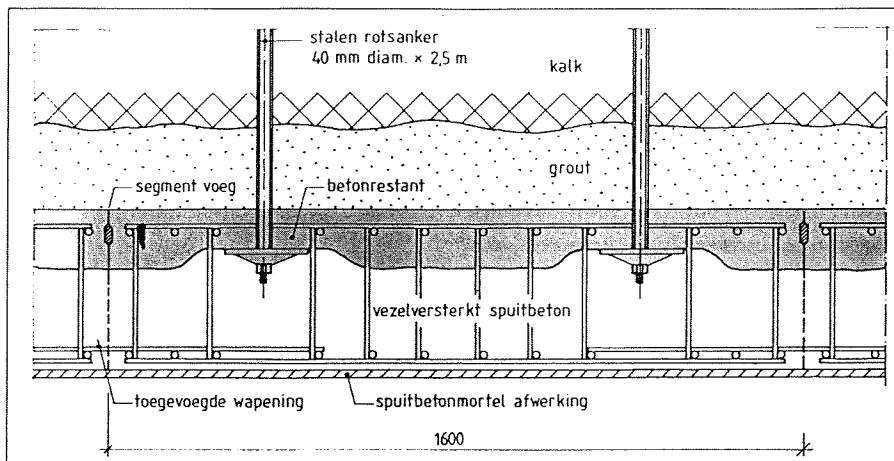
But in any event, the RCC in Folkestone had had knowledge of the fire since 21.49, thanks to the advice from the security guard. The control centre spoke to the train driver, who in this instance happened to be French, and he reported that he had no problems. There is a fire alarm on each locomotive and a smoke detector beam on the four lorry loading vehicles in each train, and none of these were showing any alarm.

But shortly after he was first contacted by the RCC, the driver received an alert from the alarm on the rear loco, and about the same time the chef du train (guard) had a warning from the alarm in the amenity coach carrying the lorry drivers.

The time was 21.53, and the train was over 5km into the tunnel and travelling at about 140km/h. Now the RCC had a 'confirmed' alarm (from the train driver), it started putting into action the drill for such eventualities. All trains which were about to enter the tunnel were given red signals and prevented from entering.

The piston relief ducts, connecting the running tunnels at 250m intervals, were shut (although one failed to close properly, allowing some smoke to escape into the unaffected tunnel).

Engineer's train in the fire-damaged part of the Channel Tunnel on 20 January 1997. Repairs are scheduled for May completion. Brian Morrison



③ Dwarsdoorsnede over betonreparatie

Herstelwerkzaamheden

Zodra de brand was geblust, moest allereerst voor de stabiliteit van de tunnel worden gezorgd, zodat er veilig met de herstelwerkzaamheden kon worden begonnen. Nadat het eerste puin van gespat beton, kabels en ophangmateriaal was opgeruimd, kreeg een aannemer de opdracht om een licht stalen net over het ergst getroffen gebied te spannen. Er werden stalen rotsankers van 2,5 m lang door de beschadigde segmenten geboord in het bovenste gedeelte van de tunnel, zodat de segmenten niet konden verschuiven, alhoewel dit niet was voorzien in het oorspronkelijke reparatieontwerp. In het omringende kalksteen werden drainagegaten geboord om de mogelijkheid te verkleinen dat er hydrostatische druk zou worden opgebouwd, maar de kalk bevatte geen water.

Daarna kwam de vraag wat men met de beschadigde tunnelwand moest doen. Was de rest van het beton ook door de brand aangetast? En hoe groot was de bruikbare reststerkte in de rest van het beton? Afgezien van observaties die ter plaatse werden verricht en sterkteschattingen die met behulp van een terugslaghamer werden uitgevoerd, werd opdracht gegeven om drie onafhankelijke studies te laten uitvoeren. Hiervoor werd gebruik gemaakt van betonnen boorkernen zowel uit beschadigde segmenten als uit onbeschadigde segmenten, die ver van de brandhaard waren verwijderd. Deze moesten controlewaarden verschaffen. Op het Imperial College in Londen bepaalde Dr.Khoury grafieken die de normaaldruksterkte onder temperatuurswisselingen aangeven, door onbeschadigde monsters in een oven te verhitten en vervolgens te beproeven. Dit experiment toonde een reductie aan in beton, dat aan een temperatuur van 300 °C is blootgesteld, van 25% in druksterkte en 65% in elasticiteitsmodulus.

Door de druksterkte en de E-modulus van betonmonsters van boorkernen uit het gebied van de brandhaard te vergelijken met deze grafieken, concludeerde hij dat de temperatuur van de tunnelwand niet significant hoog was geweest, met uitzondering van de eerste 20 tot 30 mm. Voorts suggereerde hij dat het effect in de tunnel nog minder was geweest dan door zijn experimenten werd aangegeven, aangezien het beton in de tunnel onder druk staat en dat was bij de testmonsters niet het geval geweest.

In Lille CETE werden grafieken bepaald die het gedrag van de E-modulus van beton bij stijgende temperatuur weergeven. Vervolgens werden boorkernen van de beschadigde tunnelwand in plakken van 8 mm dik gesneden, waarna de E-modulus voor elke plak werd bepaald met behulp van mechanische resonantieproeven. Deze proeven leidden tot dezelfde conclusie, namelijk dat slechts de eerste 20 tot 30 mm van het beton nadelig door het vuur was beïnvloed.

Dr.Sanderson van de Scottish Universities probeerde de verandering in thermoluminescentie van beton vast te stellen door het beton aan verhitting bloot te stellen. Hij gebruikte hiervoor boorkernen van monsters die niet door het vuur waren aangetast, en vergeleek de resultaten daarna met de gemeten thermoluminescentie van de door vuur aangetaste monsters. Ook deze aanpak leidde tot dezelfde conclusie.

De originele betonnen tunnelwandsegmenten waren 40 cm dik, met een dikte van de omringende groutlaag van 18 tot 20 cm. De gemeten druksterkte van het betonnen segment was hoger dan de ontwerpspecificatie. Herberekeningen stelden een E-modulus vast van 43 000 MPa voor het segment en 5000 MPa voor het groutmengsel. Ná de brand werden deze cijfers vastgesteld op respectievelijk 14 300 MPa en 1670 MPa.

Reparaties

De aangetaste segmenten werden gezandstraald, zodat alle losse betonnen deeltjes werden verwijderd; daar waar nog beton aan de binnenzijde zat, werd deze eveneens verwijderd. Het beschadigde beton werd vervolgens vervangen door met staalvezels versterkt spuitbeton aangebracht met de dry mix methode, gevolgd door een enkele centimeters dikke toplaag van ongewapend spuitbeton, dat daarna met een troffel werd glad gestreken. Ter plaatse van de voegen werd extra wapening aangebracht om de oorspronkelijke wapeningskooien van individuele segmenten met elkaar te verbinden (fig. 3).

Daar waar de brand het hevigst was geweest, had de tunnelwand veel van zijn draagkracht verloren; de inbreng van het gedeelte dat was overgebleven werd verwaarloosd. De nieuwe, met vezels versterkte spuitbetonlaag, met een dikte van tussen de 20 en 30 cm, wordt geacht de hele belasting te kunnen dragen. Buiten deze zone, waar de tunnelwand en de achterliggende grout minder dan 50% van hun sterkte hebben verloren, bestaat de vervangende tunnelwand uit drie onderdelen: grout, tunnelwandsegment met gereduceerde sterkte en vezelversterkt spuitbeton.

Het reparatiecontract werd reeds zes weken na de brand aanbesteed en de datum voor de heropening van de tunnel, 15 mei 1997, werd in december 1996 vastgesteld. Het werk werd volgens planning voltooid en nagenoeg binnen het budget.

Conclusie

De brand was zeer ernstig en veroorzaakte ernstige schade aan één tunnel, maar er waren geen doden te betreuren, en evenmin ernstig gewonden; 34 mensen werden dankzij de servicetunnel snel geëvacueerd. Alhoewel de betonnen tunnelwand ernstig beschadigd was, bestond er nooit een dreiging van instorting, als gevolg van overdimensioenering en de beter dan vereiste uitvoering. Het wordt niet noodzakelijk geacht om de brandveiligheid van het bij de reparaties gebruikte beton te vergroten. Eurotunnel heeft wél een paar wijzigingen in de bedrijfsprocedures aangebracht om de risico's van herhaling te verminderen; tevens zijn er plannen om brandblus- en brandonderdrukingsapparatuur op geselecteerde plaatsen in de tunnel te installeren.

10 400 drawings

of one alarm signal from the tunnel sensors. Trains will be prevented from entering the tunnel, piston relief ducts will be closed, and the crossover doors will be shut if they are open (following the slowing of trains to allow proper shutting). These measures will result in some delays from false alarms: about two a month are expected, which is considered a level which can be lived with. Extra importance will be attached to the activities of the tunnel cleaning train, with the aim of eliminating false alarms from dust.

- Transponders will be fitted to cross-passage doors, which will tell controllers eg 'I'm door 411, and I have a train standing next to me'. This will eliminate confusion over which door is the correct one to enter.

- Action will be taken to plug as many leaks as possible in the amenity coaches, to prevent smoke from seeping into them.

- Smoke hoods will be fitted in amenity coaches for lorry drivers and crew members. Tourist and Eurostar passengers, travelling in enclosed trains, will not need hoods.

A number of these short-term measures will be affected in time for the reopening to HGV shuttles. They will greatly assist in preserving life in the tunnel. If the new procedures had been in place, Eurotunnel estimates it would have got the lorry drivers out of the tunnel 26 minutes before it actually did on 18 November.

Over the medium term, measures will be taken which will also assist in preserving property. Note has been taken that in the longest tunnel in the world, the Seikan Tunnel in Japan, there are emergency stations at the coastal shafts. These are a celebrated feature of the tunnel, with tour parties regularly visiting them.

Eurotunnel will be drawing on this idea, although it will be applying it in a rather different form. Six fire control stations will be built in each of the two running tunnels under the Channel; these will be capable of delivering all-round water jets onto a train (a 'car wash' effect). The idea will be to contain a fire until the fire brigade arrives and starts attacking it more comprehensively.

No closed-in wagons

The Fire Brigades Union and others have called on Eurotunnel to enclose its lattice-work wagons, claiming that the Bunsen burner effect made the fire on 18 November much worse than it would have been had it started in enclosed wagons.

There are a number of practical difficulties in enclosing the wagons. First, it is no good just sheeting in the sides: that merely exacerbates the Bunsen burner effect by creating a wind tunnel. But putting end doors on is a difficult proposition. The doors would have to be capable of withstanding two tonnes of air coming at them when the train was moving at 140km/h - some meaty construction would be required.

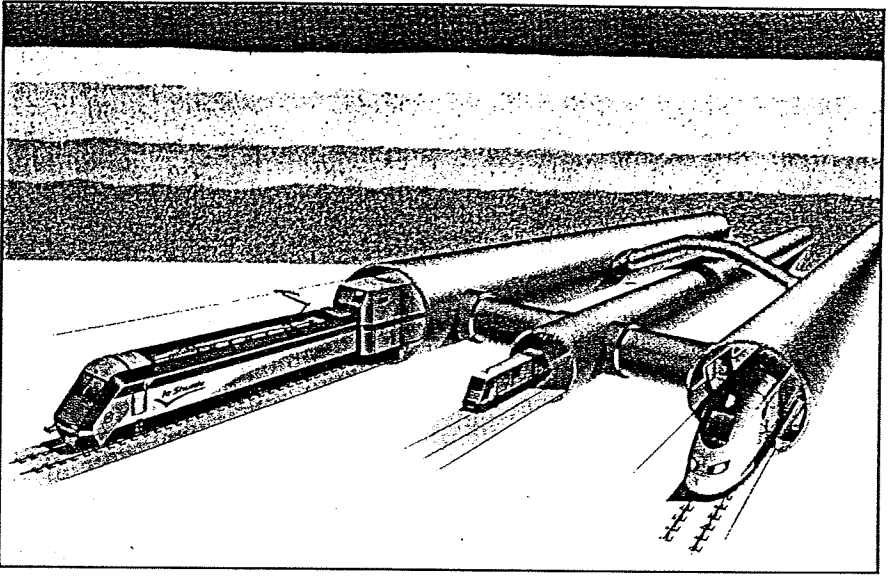
Then there is the problem of where to put the roller for the shutter. The HGV wagons have 4.35m clearance - 0.15m more than the legal height limit for lorries. Even so, illegally loaded lorries often clobber the top of the wagons: reducing the height of the entrance with a roller for the shutter would exacerbate this problem. Three-axle bogies rather than two axles might be necessary to carry the additional weight of closed-in wagons.

Design vindicated

The Channel Tunnel is actually not one, but three tunnels: two running tunnels, plus a tunnel of smaller bore in the centre: the service tunnel. The three are connected at regular intervals by cross passages. The service tunnel has its own ventilation system, with diesel generators at both ends ensuring that it keeps operative even if both the English and French electricity grids go down at the same time; the ventilation system is powerful enough to provide air for 20,000 people! Battery-powered buggies can transport people along the service tunnel.

The provision of a service tunnel cost the builders of the Channel Tunnel about £1 billion and was attacked in some quarters as an extravagance. But it came into its own on the night of 18 November last year: when driving the amenity coach out of the tunnel was closed off as an option, the service tunnel was a lifesaver.

Those motorists who eschew the Channel as too dangerous and yet regularly use the M25 should ask themselves where the service tunnel is for the Dartford tunnel. There isn't one.



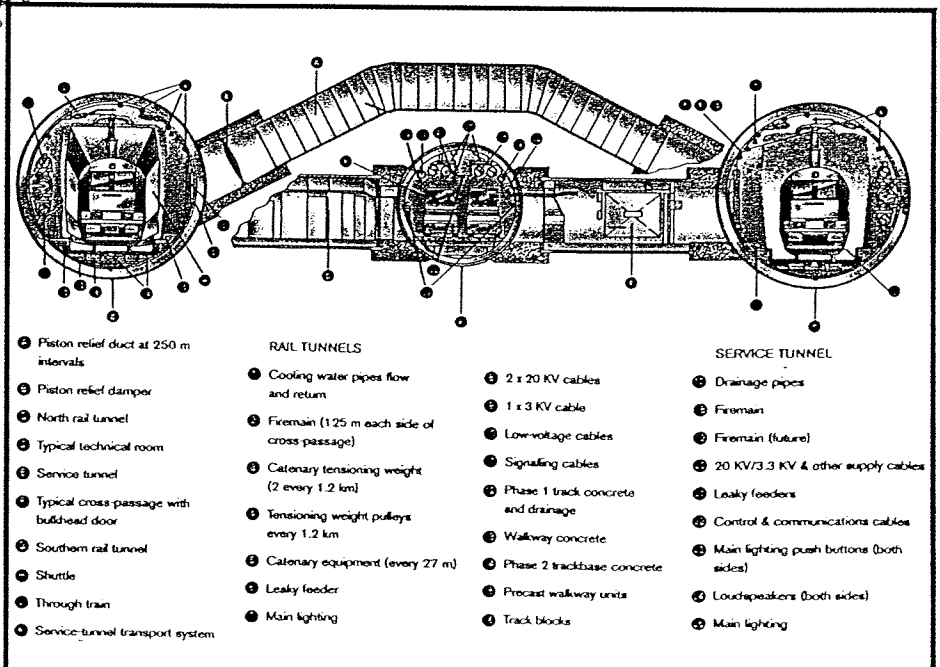
Engineers consider that the additional weight that closing in the vehicles would impose might limit Eurotunnel to lorries of 38 tonnes maximum weight, while the concession agreement says the company should be able to offer 44 tonners a ride.

All in all, the existing fleet of wagons would have to be virtually rebuilt to accommodate closed-in sides. For the small diminution of risk this would achieve, it cannot be financially justified. The new HGV shuttles currently under construction in Italy - which were ordered before the fire - will be deliv-

ered with latticework sides. They are too far advanced to change the design now.

Civil works on the damaged south running tunnel were finished on schedule this spring, and fixed equipment is now being restored with a view to having the tunnel ready for traffic again by mid May. Trials will then commence, with a view to reopening the Channel Tunnel to HGV traffic in early June.

Having come so close to catastrophe last November, Eurotunnel will be redoubling its efforts to ensure the Channel Tunnel remains a very safe transport corridor.



At the one third and two thirds points under the Channel, there are crossovers between the two running tunnels, so that trains can change tunnels in the event of engineering work. Huge undersea doors are available to block these openings, thus preventing smoke from a fire in one tunnel penetrating the other one. The RCC set about closing these doors, but with trains passing at 140km/h, pressure waves prevented them from plugging shut - six-inch gaps on the night of 18 November allowed smoke to penetrate from running tunnel south, where the fire was, to running tunnel north. With hindsight, it can be seen that the other trains should have been told to slow down - but of course the natural human reaction was to get all trains out of the tunnel as quickly as possible. That included the train with the burning lorry: following the drill, that train was told to keep heading for the English portal.

Fire brigade alerted

At 21.56, the 'First Line of Response' (FLoR) plan was adopted, and the civil fire brigade on whose territory the incident was taking place - France - was alerted. At this point, the driver of the affected train was still making progress, while fire alarms in the tunnel ceiling were going off continually.

Then the first bit of bad luck of the night hit. The loading wagons of the HGV shuttles have metal props which are dropped onto the ground to stabilise the wagon while loading and unloading takes place. For transit, these are retracted and stowed under the floor of the vehicle. Obviously, when trains are moving it is essential to have the props stowed properly, otherwise they would do untold damage to points and other equipment on the ground. An electric circuit to ensure proper stowage gives an indication in the cab to the driver whether or not all is well.

This had been a troublesome component from Day One, but on the night of the fire a niggling irritation turned into a major problem. The driver had a 'Loss of Propping Loop' indication come up on his panel, and following the regulations he brought his train to a stand. It is highly probable that this was a spurious indication: investigations have suggested this. At this point there was little damage to the rear loco: the theory that it might have been the rear loco 'complaining' that resulted in the train being brought to a stand turns out to have been wrong.

As he had been trained to do, the driver brought his train to a halt with the amenity coach opposite a cross-passage door leading into the service tunnel. Air pressure in the service tunnel is maintained at a higher level than it is in the running tunnels for just this eventuality, so the lorry drivers were but a short step from safety and could be led across the gap.

But which cross-passage door was next to the AMC? Each door is marked with a number, but with smoke and confusion gathering the driver had failed to note its number as the loco pulled past while the train was stopping. Track circuits showed the RCC the train was at one of three cross-passage doors (they are 500m apart), but it was impossible to tell which one. The driver opened his cab door with the intention of getting down to go and look for the cross-passage door number, but he was beaten back by the smoke. Having collected his smoke mask he tried again - but

again had to give up on the attempt. He shut his door and stayed in his cab to await rescue. So at this point the fire brigade was heading down the service tunnel from Coquelles, uncertain of which cross-passage door to try.

Back in the amenity car, the chef de train was peering out of the window to try and see what was going on. He couldn't see a thing; the reflection of the coach lights, plus the smoke in the tunnel, prevented him from doing so. In an understandable human reaction, he opened the coach door so he could have a look out - with hindsight, it is easy to see that this was the last thing he should have done. As soon as the door began to open, acrid smoke poured into the coach - and although the chef de train slammed the close button straightaway, the cycle time of the plug door meant that for about 30 seconds smoke got in. This was the main source of the smoke inhalation suffered by the lorry drivers - although smoke was also getting in through the keyhole, through the toilet and through the cable ducting.

Meanwhile, the fire brigade had drawn to a halt at the cross-passage door their guesswork had told them was the right one. As it happened, it was the right one - but Sodde's law now struck again. The RCC in Folkestone - for reasons which are not clear - instructed the brigade to go on to the next door and try that one. This instruction was followed: the brigade opened that door, found no train, and shut it again before returning to the first door.

Opening the door blew a bubble of fresh air into the running tunnel, clearing the smoke from the amenity coach and allowing the chef de train to see he was right opposite a cross-passage door. Seizing this opportunity, the chef de train bravely led his 32 passengers to safety through the cross-passage

Why wasn't the amenity coach uncoupled?

Eurotunnel's plan for dealing with a fire on an HGV train had three levels.

- 1) The lowest level: affected train should continue and exit the tunnel.
- 2) If (1) is not feasible: affected train should stop, drop the coupling behind the amenity coach and the front loco should head for the exit with the amenity coach.
- 3) If all else fails: evacuate the amenity coach passengers into the service tunnel.

On the night of 18 November, (1) was ruled out by the problem with the prop indicator. Then the RCC aimed for (2), but four seconds after the train stopped the power was lost. Sodde's law had struck again: the cornflakes lorry had stopped under one of the motorised isolator switches which break the catenary into 1,200m sections. The fire melted the solder on the switch, with the result that the power was lost. That meant (3) was the only option.

In the new procedures devised since the fire, in future an HGV train with a vehicle on fire will make a controlled stop, and lorry drivers will be evacuated to the service tunnel. Only a shuttle close to an exit will be authorised to proceed and leave the tunnel.

door into the service tunnel, where they found the fire brigade just arriving. So it was the chef de train who actually assured the safety of the lorry drivers; the fire brigade entered the tunnel with breathing apparatus and rescued the driver.

Having got the people into the service tunnel, a train going the other way - the last one to enter the north running tunnel before the shutdown - was halted in order to evacuate them to fresh air. This was a tourist shuttle running from England to France. So as not to precipitate panic, the tourist passengers were moved to the rear of the train, separating them from the lorry drivers who had suffered from smoke inhalation. But the fact that the undersea doors at the crossovers were not completely shut meant that smoke had infiltrated into the north running tunnel, and the tourist passengers smelt smoke. Some of the lorry drivers were also panicked a little by the presence of smoke in this tunnel which was supposed to (and did) lead them to safety.

After the train had left, the Kent fire brigade arrived. Some media comment has levelled the accusation that the fire authorities on the English side were alerted too late. It is true that some time elapsed before the English firefighters arrived, but this was the result of a 'non-decision' by the French fire brigade chief. Eurotunnel alerted the fire authorities closest to the fire, and it was up to the French fire brigade to call the fire brigade on the other side if they wanted help. In any future incident, Eurotunnel has decided it will alert the fire authorities on both sides immediately.

Protecting life, not property, is the guiding principle of fire brigades everywhere - and it is a notion with which it is difficult to argue. Thus once the 34 people on the train were out of the way, the fire was largely left to burn itself out. There is a certain amount of debate (not least with insurers) about how far to take this philosophy, but on the night of 18 November the principle held sway. Fans supplying oxygen to the fire were left on and the water was not turned on until 00.06.

The cornflakes lorry which was the seat of the fire was in the fourth wagon of the second rake (about 250m from the amenity coach). There was a lorryload of pork fat behind (which the fire enjoyed enormously) and lorries loaded with pineapples and cheese slices in front. Water in the fruit and cheese acted as a 'heat sink' slowing the growth of the fire. Astonishingly enough, the cheese slices could still be separated by salvage teams rooting through the wreckage.

By the time the fire brigade entered the south running tunnel only two lorries were still burning, and the fire was eventually put out about five hours after it started.

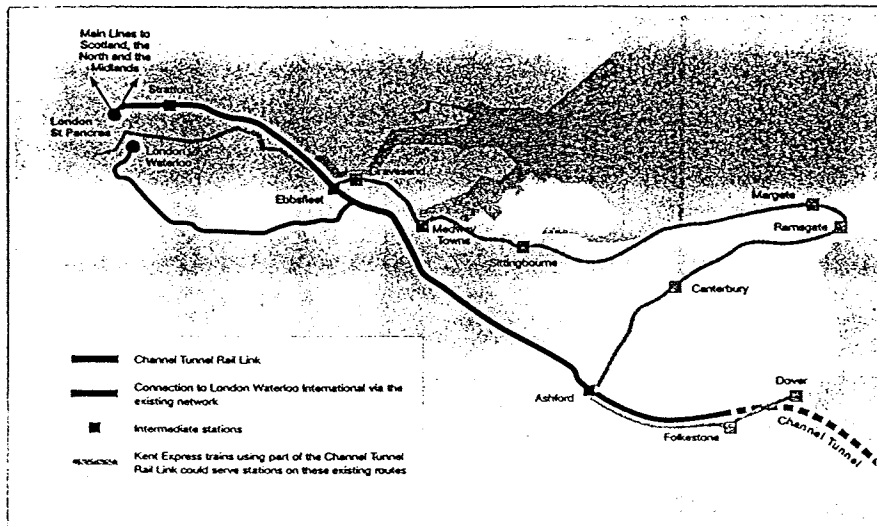
Remedies

In the light of the experience of the night of 18 November, Eurotunnel is changing a number of procedures.

- There will be closer inspection of vehicles at the terminals.
- The undersea doors at the crossover tunnels will be shut all the time the crossovers are not in use, preventing the problem of the doors not shutting properly and smoke escaping into the unaffected tunnel.
- All fire alarm monitors will be centralised in the RCC. There will be response to receipt

1 The Channel Tunnel Rail Link (CTRL)

Aan de overzijde van het Kanaal wordt eveneens gewerkt aan een Hogesnelheidslijn om de Kanaaltunnel te verbinden met het centrum van London. De eerste treinen kunnen begin volgende eeuw gaan rijden. Dit traject is onderdeel van het Europese Hogesnelheidsnet, waarbij tevens binnenlandse forensen-treinen gaan rijden tussen London en North Kent. Goederenvervoer is toegestaan onder vergelijkbare condities als bij de Kanaaltunnel.



Figuur 1: Overzichtskartaal Channel Tunnel Rail Link

1.1 Projectbeschrijving

De Channel Tunnel Rail Link (CTRL) wordt gebouwd om de capaciteit van en naar de Kanaaltunnel te vergroten. De reistijd van het traject London-Parijs wordt met 30 minuten gereduceerd. De ontwerpsnelheid van het traject is 225 km/uur waarbij op een aantal gedeelten 300 km/uur gereden kan worden. Hoge eisen aan betrouwbaarheid en comfort komen tot uiting in een bezetting van acht internationale treinen per uur in iedere rijrichting. Naast deze acht internationale treinen rijden 12 binnenlandse treinen per uur ten behoeve van het lokale woon/werkverkeer. [Leighton, april 1995]

In totaal wordt 108 kilometer nieuw spoor aangelegd, waarvan ongeveer 23 kilometer ondergronds (zie figuur 2). De CTRL is een dubbelsporige verbinding met passeerstroken waarop snelle reizigerstreinen langzamere goederentreinen kunnen inhalen. Op het traject bevinden zich geen gelijkvloerse kruisingen en de autowegen kruisen het traject door middel van bruggen. Op verscheidene plaatsen worden aansluitingen op de bestaande railinfrastructuur voorbereid.

De langste tunnel in het traject ligt in London tussen het "London St. Pancras International & Domestic Station" en het "Ripple Lane Portal" en heeft een lengte van 15 kilometer. Deze tunnel wordt uitgevoerd als twee enkelsporige boortunnels met dwarsverbindingen om de 750 meter (zie figuur 3). [Metcalf, oktober 1997]

Bijlage H.0: Analyse veiligheid Channel Tunnel Rail Link

1	The Channel Tunnel Rail Link (CTRL)	2
1.1	Projectbeschrijving	2
1.2	Veiligheid in het ontwerp	3
1.2.1	Veiligheidsnormen	3
1.2.2	Beoordeling van veiligheid	4
1.2.3	Betrokken partijen	7
1.3	Veiligheidsmaatregelen	8
1.3.1	Algemene veiligheidsmaatregelen	8
1.3.2	Veiligheidsmaatregelen voor de tunnels in de CTRL	9
1.4	Analyse veiligheidsniveau; een kritische beschouwing	10

bestaand spoor: 1 op 13 miljoen reizen
 bus: 1 op 17 miljoen reizen
 CTRL: 1 op 30 miljoen reizen

Uitgangspunt bij het ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link is een verbetering van de veiligheid met een factor 2.

1.2.2 Beoordeling van veiligheid

Het beoordelen van het veiligheidsniveau in het ontwerp verloopt volgens een vijftal beoordelingsstap-
 pen:

Beoordelingsstap 1: Veiligheidscriteria

In overeenstemming met de gehanteerde Engelse veiligheidsfilosofie is een aantal veiligheidscriteria voor de Channel Tunnel Rail Link opgesteld, te weten:

- de risico's moeten gereduceerd worden volgens het principe "As Low As Reasonable Achievable".
- de risico's moeten in ieder geval kleiner zijn dan de gespecificeerde veiligheidsnormen.

De toetsing van de verschillende mogelijke veiligheidsmaatregelen aan het ALARA-principe is gebaseerd op een prijs voor een mensenleven van 2 miljoen pond. Als een soort gevoeligheidsanalyse is voor een aantal maatregelen bekeken wat de besparing in het aantal doden is, indien voor de prijs van een mensenleven 4 miljoen pond wordt aangehouden.

De gespecificeerde veiligheidsnormen zijn verdeeld in individueel risico en groepsrisico. Als norm voor het individueel risico wordt voor buitenstaanders en passagiers $1 \cdot 10^{-5}$ aangehouden en voor personeel een norm van $1 \cdot 10^{-4}$. Als norm voor het groepsrisico wordt gehanteerd een incident, eens in de 100 jaar, met maximaal 10 doden en een incident, eens in de 1.000 jaar, met maximaal 100 doden (zie figuur 4).

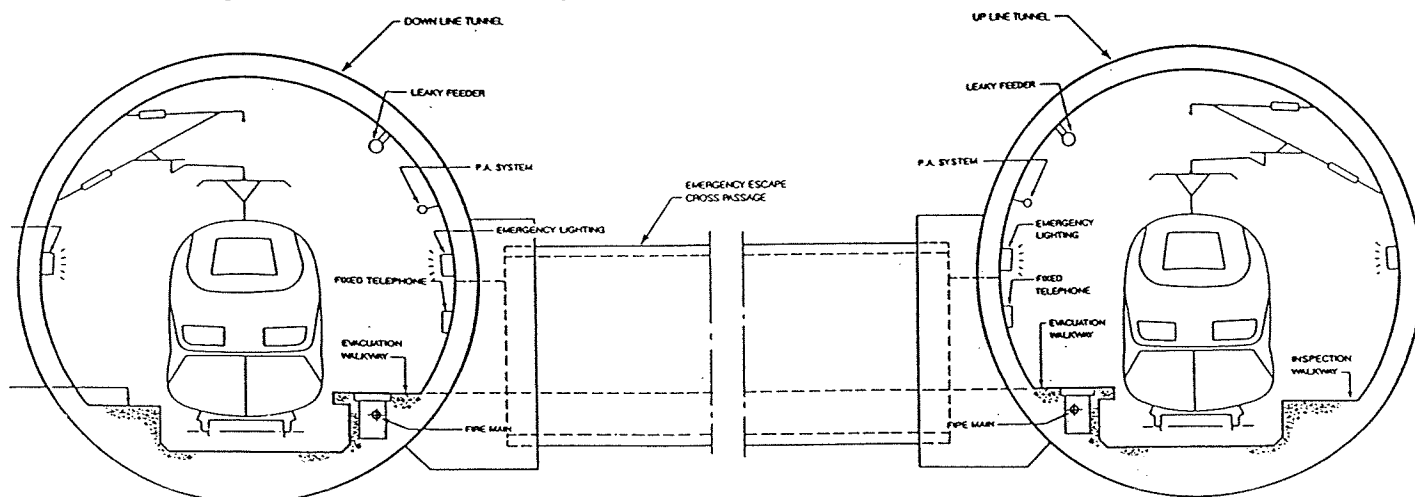
Category	Individual Risk Design Safety Value (annual probability of death)
Passengers	10^{-5}
Staff	10^{-4}
Number of Fatalities	Societal Risk Design Safety Value (event frequency per year)
≥10	10^{-2}
≥100	10^{-3}

Figuur 4: Veiligheidscriteria Channel Tunnel Rail Link

Als principiële doelstelling wordt gestreefd naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan het ALARA-principe. De functie van de gespecificeerde veiligheidsnormen wordt in de veiligheidsfilosofie ontkracht door toe te voegen dat het niet bereiken van de norm niet onoverkomelijk is. Indien al het mogelijke is

Tunnel	Approximate Length (km)
London	15.0
Thames	2.9
A2 Cut and Cover (Pepper Hill)	0.4
North Downs	3.1
Parkwood (Boxley)	0.3
B2163 Eyhorne Road (Hollingbourne)*	0.2
Headcorn Road (Sandway)*	0.2
Leacon Road (Ashford)*	0.1
Godington Road (Ashford)	0.6
Church Road (Mersham)*	0.2
Sandling Park*	0.1
Total length of tunnel	
	23.1

Figuur 2: Overzicht tunnelgedeelten Channel Tunnel Rail Link (CTRL)



Figuur 3: Dwarsdoorsnede tunnel in London van 15 kilometer lengte

1.2 Veiligheid in het ontwerp

Om te kunnen garanderen dat de CTRL veilig genoeg kan functioneren, is een veiligheidsrapport tot stand gekomen met daarin een risico-analyse van het ontwerp. [Dyke, november 1994] Dit veiligheidsrapport dient tevens om doelmatig te investeren in veiligheidsvoorzieningen, om de belangrijkste veiligheidsknelpunten in de volgende fase van het project te identificeren en om een goede basis te creëren voor het omgaan met veiligheid.

1.2.1 Veiligheidsnormen

Bij het opstellen van de normen voor veiligheid is een vergelijking gemaakt met andere vervoersmodaliteiten, waaruit de toekomstige gebruikers een keuze kunnen maken. Geconcentreerd moet worden met bestaande railinfrastructuur, het vliegtuig, de bus en de personenauto. Uitgangspunt is het aanbieden van een vergelijkbaar veiligheidsniveau, zo mogelijk hoger. Op basis van een vergelijking tussen concurrerende vervoersmodaliteiten is een veiligheidsnorm opgesteld.

Als basis voor de vergelijking tussen de verschillende modaliteiten is een reis met een lengte van 108 kilometer genomen. De kans op een fataal ongeluk voor een individu per reis is:

- personenauto: 1 op 2.5 miljoen reizen
- vliegtuig: 1 op 11 miljoen reizen

Het totale traject is onderverdeeld in verschillende type baanprofielen, zoals een open spoor op maaiveld, een open spoor op een verhoging, een enkelsporige tunnel, een dubbelsporige tunnel en een station. Deze onderverdeling is gemaakt omdat de frequentie en de gevolgen van een incident niet op alle baanvakken gelijk is. Deze onderverdeling resulteert in 35 verschillende type incidenten, zoals botsing, ontsporing en brand op verschillende type baanprofielen. Het totale risico is het gecumuleerde risico van de 35 individuele incidenten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in een situatie met alleen passagiers en een situatie met een combinatie van passagiers en vracht.

Kwantificeren grote kans/ kleine gevolgen incidenten

De risico's voor "bewegingsincidenten" en "niet-bewegingsincidenten" zijn gekwantificeerd door een vergelijking met het conventionele spoor te maken en een schatting te maken van de invloed van de bijzondere kenmerken bij de Channel Tunnel Rail Link. Bijzondere kenmerken van de Channel Tunnel Rail Link komen met name tot uiting in de verhoogde snelheid, de aard van het rollend materieel en de wisselwerking tussen goederen- en reizigerstransport.

3b. Resultaten, primaire veiligheidseisen

Het gekwantificeerde risico voor een omwonende van de nieuwe spoorverbinding is een kans van 1 in 13 miljoen jaar op een dodelijk ongeluk. Dit risico wordt veroorzaakt door een ontsporing, waarbij delen van de trein in aanraking komen met bezit van omwonenden. Dit risico valt binnen de grenzen van het toelaatbare veiligheidsniveau (zie bijlage H.1).

Door de verschillen in het aantal reizen en de afstanden is onderscheid gemaakt tussen het risico voor internationale reizigers en voor forensen. Het risico voor internationale reizigers is een jaarlijkse kans op overlijden van 1 op de 320.000. Voor een forens is de jaarlijkse kans op overlijden 1 op de 115.000. Deze risico's vallen binnen de grenzen van het toelaatbare veiligheidsniveau (zie bijlage H.1).

Het grootste risico voor reizigers wordt veroorzaakt door "bewegingsincidenten" en "niet-bewegingsincidenten", zoals het vallen van het perron of vastzitten aan een trein.

De veiligheid voor het personeel neemt t.o.v. conventioneel spoor toe door twee extra maatregelen (zie bijlage H.2):

- Strenge toegangscontrole voor toetreding tot het spoor.
- De exploitatie wordt stilgelegd indien de lijn betreden moet worden door personeel.

3c. Resultaten, secundaire veiligheidseisen

In aanvulling op de primaire veiligheidseisen voor het individuele risico is een aantal secundaire veiligheidseisen voor het groepsrisico vastgesteld.

Voor reizigerstreinen worden voor het groepsrisico de volgende normen gehanteerd (zie bijlage H.3):

- één incident in de 140 jaar met meer dan 10 doden
- één incident in 1.400 jaar met meer dan 100 doden

Het eerste risico wordt in belangrijke mate veroorzaakt door een ontsporing en een daaropvolgende botsing met een tegemoetkomende trein. Het tweede maatgevende risico wordt in grote mate bepaald door een kop-staart botsing, ten gevolge van het falen van de ATB.

Voor gecombineerde goederen- en reizigerstreinen worden voor het groepsrisico andere maatgevende incidenten gehanteerd dan bij alleen reizigerstreinen. De volgende risico's bepalen de normen, waaraan het ontwerp moet voldoen:

gedaan en het bereikte veiligheidsniveau voldoet niet aan de veiligheidsnorm, maar voldoet wel aan de tolerantiegrenzen, dan wordt dit geaccepteerd. [Dyke, november 1994]

Beoordelingsstap 2: Inventarisatie van ongewenste topgebeurtenissen (gevaarsidentificatie)

Voordat de verschillende mogelijke incidenten gekwantificeerd worden naar risico's voor personeel en passagiers, is een aantal studies verricht ter inventarisatie van de verschillende incidenten. Deze studie richtte zich met name op de verschillen tussen conventioneel spoor en de Channel Tunnel Rail Link en op mogelijke niet-frequent voorkomende, nooit eerder opgetreden incidenten met grote gevolgen.

De verschillende mogelijke incidenten worden gecategoriseerd in een zogenaamde "fault schedule". Dit is een zo volledig mogelijke lijst met incidenten, oorzaken van incidenten, factoren die de gevolgen van het incident kunnen beïnvloeden en veiligheidsmaatregelen die de kans van voorkomen verminderen of de gevolgen van een incident beheersen.

Om een zo volledig mogelijke "fault schedule" te creëren is een analyse gemaakt van alle opgetreden incidenten over de afgelopen 10 jaar bij het conventionele Engelse spoor.

De verschillende incidenten op het conventionele spoor zijn onderverdeeld in:

- trein-incidenten
- bewegings-incidenten: Incidenten met mensen, veroorzaakt door de beweging van de trein, niet veroorzaakt door de trein-incidenten.
- niet-bewegings-incidenten: Incidenten op het terrein van de spoorwegen, niet veroorzaakt door beweging van treinstellen.

Beoordelingsstap 3: Risico-analyse van de ongewenste topgebeurtenissen

De risico-analyse kan gesplitst worden in een drietal onderdelen. Dat zijn de methode, de geëxtraheerde primaire veiligheidseisen en de secundaire veiligheidseisen.

3a. Benaderingsmethode

Een analyse van de opgetreden incidenten op het conventionele Engelse spoorwegennet toont dat "bewegingsincidenten" en "niet-bewegingsincidenten" met een relatief hoge frequentie voorkomen, maar vaak slechts een enkele dode tot gevolg hebben. Daarnaast is het risico onderkend van ongevallen met grote gevolgen en een kleine kans van optreden. De kleine kans van optreden heeft tot gevolg dat slechts een geringe ervaring bestaat met dit type ongevallen.

De risico's die voortkomen uit deze twee categorieën incidenten, worden op verschillende manieren gekwantificeerd.

Kwantificeren kleine kans/ grote gevolgen incidenten

Treinongelukken, met het karakter kleine kans/ grote gevolgen, worden als volgt gemodelleerd:

- analyse van foutenbomen, waardoor de ongewenste topgebeurtenissen bekend worden.
- analyse van gebeurtenissenbomen, waardoor de verschillende maatgevende scenario's omschreven zijn.
- verzamelen van data voor kansschatting bij de verschillende gebeurtenissen.
- beoordeling van de consequenties van de verschillende gebeurtenissen.

1.3 Veiligheidsmaatregelen

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt in algemene veiligheidsmaatregelen in de Channel Tunnel Rail Link en in veiligheidsmaatregelen specifiek voor tunnels.

1.3.1 Algemene veiligheidsmaatregelen

De veiligheidsmaatregelen die in het totale ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link voorkomen zijn onder te verdelen in vier groepen.

1. Vermijden van ongelukken

In het ontwerp is geen enkele gelijkvloerse kruising opgenomen, waardoor de aanwezigheid van voetgangers of ander niet-spoors-materieel in de buurt van het tracé is geminimaliseerd. Bij conventioneel spoor in Engeland komt een kwart van alle fatale ongelukken met publiek of reizigers voort uit de gelijkvloerse kruisingen.

Een tweede maatregel, die het aantal fatale ongelukken met reizigers met een kwart reduceert t.o.v. conventioneel spoor, is het uitsluiten van handmatig bediende toegangsdeuren in de trein. Het ontwerp staat alleen elektrisch te openen en te sluiten deuren toe, waardoor de kans op reizigers die uit de trein vallen wordt gereduceerd.

2. Beperking kans van optreden incidenten

De waarschijnlijkheid waarmee incidenten optreden is door een aantal maatregelen sterk geminimaliseerd:

- Geen gelijkvloerse kruisingen; reduceert de kans op botsing van twee treinen.
- Automatische Trein Beveiliging; voorkomt dat de machinist een onherstelbare fatale fout maakt.
- Beheersing van de vegetatie langs het spoor; reduceert de kans op botsing t.g.v. slippende remmen, veroorzaakt door bladeren op de rails.
- Afscherming van het spoor; voorkomt dat vanden het spoor betreden, waardoor de kans op ontsporing afneemt.
- Ontwerp van bruggen op mogelijke beschadiging; getracht wordt om bij een beschadiging van een brug door aanrijding de effecten voor het spoor te minimaliseren.
- Het materieel heeft een grote mate van brandbestendigheid.
- Tunnels bevatten ontsporingsgeleiding.

Aanvullende veiligheidsmaatregelen voor het personeel zijn:

- Getracht wordt om de benodigde installaties niet direct naast het spoor te plaatsen.
- Toetreding tot het spoor is alleen onder beperkte omstandigheden mogelijk.
- Indien mogelijk worden veilige inspectiepaden langs het spoor aangelegd.
- De noodzaak om langs de spoorlijn te werken wordt gereduceerd in het ontwerp van de verschillende installaties.
- Indien het spoor betreden moet worden wordt de bedrijfsvoering stilgelegd.

3. Beheersen van de gevolgen van een incident

Het materieel dat gebruik maakt van de Channel Tunnel Rail Link is ontworpen om bij een ontsporing overeind, gekoppeld en in één lijn te blijven. Daarnaast is de scheiding tussen de treinstellen dusdanig dat een brand 30 minuten tegengehouden kan worden. Deze 30 minuten is de maatgevende reistijd van een reis door de Kanaaltunnel, waardoor de trein de mogelijkheid heeft om de tunnel uit te rijden. Deze veiligheidseis is overgenomen voor het ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link.

- één incident in de 70 jaar met meer dan 10 doden
- één incident in 1.200 jaar met meer dan 100 doden

Het verschil met de normen voor alleen de reizigerstreinen is dat uit historische gegevens blijkt dat de kans op ontsporing van een goederentrein groter is, waardoor de kans dat een tegemoetkomende reizigerstrein geraakt wordt, verdubbelt. Daarnaast veroorzaakt de aanwezigheid van snelle reizigerstreinen en langzame goederentreinen op hetzelfde spoor een verhoogd risico op botsing, ondanks de ATB.

Beoordelingsstap 4: ALARA-principe

Het belangrijkste ontwerp criterium voor veiligheid bij de Channel Tunnel Rail Link is het principe dat risico's "As Low As Reasonable Achievable" moeten zijn.

In aanvulling op de individuele en de maatschappelijke risiconorm wordt een collectieve risiconorm gehanteerd (het totale verwachte aantal doden per jaar). De collectieve risiconorm wordt gebruikt om te onderzoeken of het ontwerp- en besturingsconcept risico's, volgens het ALARA-principe, voldoende reduceert.

Beoordelingsstap 5: Externe risico's

Externe risico's worden veroorzaakt door gevaren, die niet in het controleveld van de Channel Tunnel Rail Link vallen. Deze gevaren zijn vaak gerelateerd aan extreme weersomstandigheden, natuurlijke of geotechnische omstandigheden. In het ontwerpproces is getracht de potentiële invloed van dit soort gevaren zover mogelijk te minimaliseren.

1.2.3 Betrokken partijen

Tijdens het ontwerpproces van de Channel Tunnel Rail Link heeft de ontwerper "Union Railways" overleg gevoerd met een groot aantal betrokken partijen. Over een aantal onderwerpen is uitvoering gediscussieerd en is op een laag niveau overeenstemming bereikt. Het omgaan met de veiligheid van een brandende trein in één van de tunnels is hier een goed voorbeeld van. De verschillende partijen zijn: [Dyke, november 1994]

- Her Majesty's Railway Inspectorate
- London Fire and Civil Defence Authority
- Essex Fire and Rescue Service
- Kent Fire Brigade
- Home Office Fire Service Inspectorate
- London Ambulance Service
- Essex Ambulance Service
- Kent Ambulance Service
- Britisch Transport Police

In de gebruiksfase is de Channel Tunnel Rail Link in beheer van een onafhankelijke "network provider", die de infrastructuur beheert en in productie neemt. Union Railways onderkent de noodzaak van een goede overdracht van kennis en informatie met Railtrack, de beheerder van het overige Engelse spoorwegennet (vergelijk Railed in Nederland).

Wanneer de trein desondanks toch stopt in één van de tunnels, bevatten deze goede verlichting, communicatiemogelijkheden, vluchtpaden langs het spoor en toegangsmogelijkheden voor hulpverleners. De verschillende ventilatieschachten naar het maaiveld worden in principe niet gebruikt voor evacuatie-doeleinden.

3. ALARA-principe

Een voorbeeld waarbij het ALARA-principe is gebruikt is de ontwerpkeuze tussen twee enkelsporige of een dubbelsporige tunnel. De voordelen van twee enkelsporige tunnels komen sterk naar voren bij een ontsporing. Bij een dubbelsporige tunnel is de kans aanwezig dat een trein op het nevenspoor botst op de eerder ontspoorde trein, waardoor het incident grotere gevolgen heeft. Daarnaast biedt het concept van twee enkelsporige tunnels enige voordelen wanneer een brandende trein moet stoppen in de tunnel. Vanuit ALARA-overwegingen is een schatting gemaakt van de kosten en de baten van de verschillende concepten. Een keuze voor twee enkelsporige boortunnels op basis van veiligheidsoverwegingen betekent omgerekend een investering van 40 miljoen pond per gered mensenleven. Deze waarde is dusdanig scheef bevonden dat besloten is om niet twee enkelsporige boortunnels maar een dubbelsporige tunnel te bouwen.

Deze afweging is gemaakt voor de North Downs tunnel met een lengte van 3 kilometer. Deze afweging gaat niet op voor de London tunnel en de Thames tunnel door het verschil in lengte en de verschillende geologische omstandigheden.

Daarnaast is op basis van het ALARA-principe een afweging gemaakt voor de onderlinge afstand tussen de ventilatieschachten in de London tunnels en is een afweging gemaakt voor de afstand tussen de dwarsverbindingen in de London en de Thames tunnel. Uiteindelijk is voor de London tunnel gekozen voor dwarsverbindingen om de 750 meter met daarnaast een inventief ventilatiesysteem (zie bijlage H.4). [Metcalf, oktober 1997]

1.4 Analyse veiligheidsniveau; een kritische beschouwing

De bestudering van de gehanteerde veiligheidsfilosofie, de normen en de uitwerking naar het ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link maakt duidelijk dat sprake is van een sterke integratie van veiligheid in het ontwerpproces. Met de verschillende belanghebbenden is uitgebreid discussie gevoerd over de mogelijke toepassing van een aantal veiligheidsmaatregelen.

De uiteindelijke keuze tussen het wel of niet toepassen van veiligheidsmaatregelen wordt beïnvloed door:

1. de mening van de verschillende hulpdiensten
2. de voorgestelde noodprocedures
3. het ALARA-principe

Deze drie-eenheid toont dat het ALARA-principe in hoge mate wordt toegepast tijdens het ontwerpproces en dat de nadruk hierbij sterk ligt op het economische karakter van het ALARA-principe. Dit verklaart ook waarom uiteindelijk voor de North Downs tunnel is gekozen voor de dubbelsporige tunnel, in vergelijking tot de duurdere en veiligere enkelsporige boortunnel.

In het ontwerpproces blijkt sprake te zijn van een sterke aanvullende wisselwerking van de probabilistische benadering van de grote kans/ kleine gevolgen incidenten en de meer deterministische benadering van de kleine kans/ grote gevolgen incidenten (vergelijk beoordelingsfase 3a). Beide typen incidenten worden op een verschillende manier gekwantificeerd en vervolgens aan de hand van het ALARA-principe

4. Veilige uitwisseling met overige spoornetten

In het ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link is tevens de nodige aandacht gegeven aan de interface met de Channel Tunnel en het conventionele Engelse spoor, beheerd door Railtrack. Dit uit zich bijvoorbeeld in het ontwerp van de procedures voor de machinist, die onafhankelijk van de desbetreffende infrastructuureigenaar dienen te zijn. Treinen die ook gebruik maken van het conventionele spoor moeten voldoen aan de standardeisen, zoals die door Railtrack gehanteerd worden.

1.3.2 Veiligheidsmaatregelen voor de tunnels in de CTRL

Om de verschillende tunnels in het tracé van voldoende mate van veiligheid te voorzien is uitgebreide discussie gevoerd over met name de veiligheid van brandende treinen in tunnels. [Leighton, april 1995] De uiteindelijke keuze tussen het wel of niet toepassen van veiligheidsmaatregelen wordt beïnvloed door:

1. de mening van de verschillende hulpdiensten
2. de voorgestelde noodprocedures
3. het ALARA-principe

1. Mening van hulpdiensten

Als gevolg van discussie met de verschillende hulpdiensten zijn voor alle tunnels de volgende veiligheidsvoorzieningen toegepast: [Leighton, april 1995]

- Permanente verlichting en noodverlichting.
- Goede communicatievoorzieningen in de tunnel, zoals telefoons.
- Bewegwijzering ten behoeve van evacuatieprocedures.
- Mogelijkheden om de elektriciteitsvoorziening geheel of gedeeltelijk af te sluiten.
- Een hoofdwaterleiding langs de volledige lengte van de tunnel.
- Voldoende parkeermogelijkheden bij toegangsschachten tot de tunnel.
- Waterpompen met voldoende capaciteit om het benodigde bluswater weg te pompen.

In het ontwerp van enkelsporige tunnels zijn vluchtpaden voorzien aan de zijde van de naastgelegen tunnel. Aan de andere zijde van de tunnel wordt een inspectiepad aangelegd waarbij beide paden, inspectiepad en vluchtpad, dusdanig geconstrueerd worden dat meteen een ontsporingsgeleiding is voorzien (zie figuur 3).

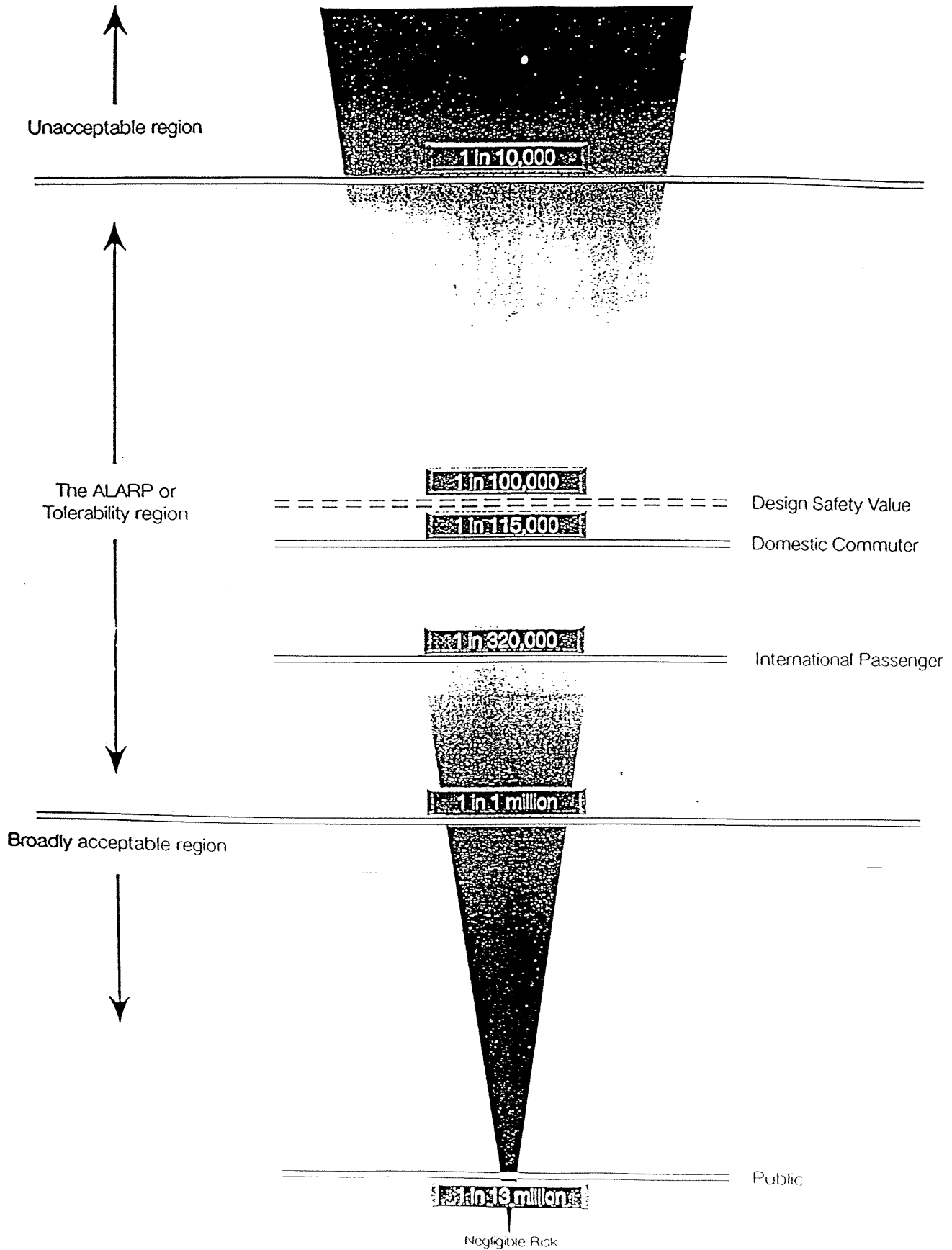
In de London tunnel komen om de 3 kilometer verticale ventilatieschachten, waarmee de beide enkelsporige boortunnels onafhankelijk van elkaar in beide richtingen geventileerd kunnen worden. Hiermee kan in de incident-tunnelbuis de rook worden weggezogen en kan de andere buis voorzien worden van schone lucht. De vrije tunnelbuis en de dwarsverbindingen kunnen hiermee onder overdruk gehouden worden ten behoeve van het evacuatieproces van de reizigers.

In de dubbelsporige tunnels zijn vluchtpaden aan beide zijden van de tunnel voorzien en is tevens een ontsporingsvoorziening in het ontwerp opgenomen. Het risico en de controlemogelijkheden wordt beheerst aan de hand van de beschikbare mogelijkheden voor veiligheid.

2. Voorgestelde noodprocedures

Het ontwerp van de infrastructuur heeft een sterke interactie met de verschillende noodscenario's. Een brandende trein wordt bijvoorbeeld geacht nooit te stoppen in een tunnel. Ondersteuning van deze strategie komt voort uit de brandbarrières tussen de treinstellen en de afzonderlijke evacuatieprocedures per treinstel. Daarnaast zorgt een goede radiocommunicatie voor een snelle melding van een incident en een vroegtijdige waarschuwing van ander treinverkeer ter voorkoming van een tweede incident.

Bijlage H.1: CTRL: Risico-normen voor passagiers en publiek



beoordeeld op maatgevendheid voor het ontwerp. Als basis voor het ontwerp van de CTRL zijn de huidige ervaring en gegevens van het Engelse spoor gebruikt. Voor afwijkende kenmerken is met een veiligheidsreview een aantal maatregelen vergeleken en afgewogen.

Belangrijk in de aanpak van de ontwerpers van de Channel Tunnel Rail Link is de relatie met de procesvoering, de voorgestelde noodprocedures en de infrastructurele voorzieningen. Het beoordelen van de noodprocedures in samenhang met het ontwerp van de infrastructuur toont de integrale aanpak die vereist is om tot een optimaal ontwerp te komen. Een beperking hierbij is echter dat de noodprocedures voor machinisten op de CTRL vergelijkbaar dienen te zijn met andere procedures op aansluitende spoorwegen, onafhankelijk van de eigenaar van de infrastructuur. Dit betekent voor veiligheid een grote beperking en daarmee wordt de veiligheid in infrastructuur belangrijker.

Op basis van een kwantitatieve risico-analyse is een vergelijking gemaakt tussen de mogelijke veiligheidsmaatregelen, zoals bijvoorbeeld blijkt uit de afweging bij de London tunnel. Een tunnelconcept met dwarsverbindingen om de 375 meter heeft dezelfde bijdrage in de veiligheid als een tunnelconcept met dwarsverbindingen om de 750 meter met een inventief ventilatiesysteem.

De gehanteerde veiligheidsnormen zijn op een vergelijkbare manier afgeleid als bij de HSL-Zuid. Uitgangspunt is een vergroting van de veiligheid met een factor 2 ten opzichte van vergelijkbare vervoersmodaliteiten. De functie van de veiligheidsnormen wordt uiteindelijk sterk ontkracht door te stellen dat indien al het nodig is gedaan en de norm alsnog niet gehaald wordt, de tolerantiegrenzen voor veiligheid maatgevend worden. Dit betekent dat de tolerantiegrenzen eigenlijk de maatgevende veiligheidsnormen zijn in het ontwerpproces, terwijl de eigenlijke veiligheidsnormen zo strict moeten zijn dat het systeem niet uitgevoerd kan worden indien niet aantoonbaar voldaan wordt aan de desbetreffende veiligheidsnorm.

De normen maken onderscheid in risico voor internationale reizigers en voor binnenlandse forensen. Dit onderscheid is interessant aangezien een gemeenschappelijke norm zoals bij de HSL-zuid geldt, een minder veilige situatie voor een bepaalde groep gebruikers introduceert.

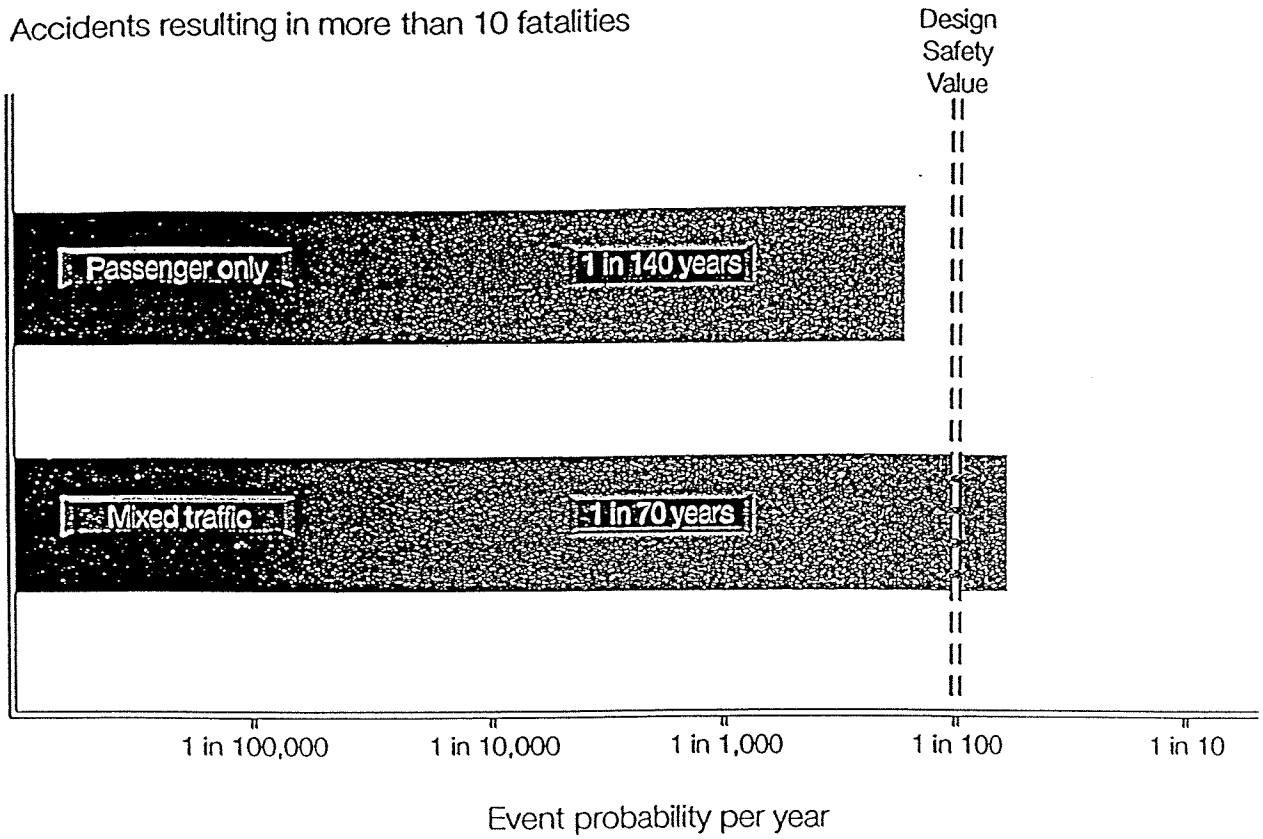
Naast de normen voor individueel risico en maatschappelijk risico wordt een collectieve risico-norm onderscheiden. Deze norm dient ter vergelijking van het totaal aantal doden per jaar en wordt met name toegepast t.b.v. het ALARA-principe. Dit duidt op een onderlinge uitwisselbaarheid van risico's voor verschillende partijen, aangezien het ALARA-principe op het totaal wordt toegepast en niet op de afzonderlijke normen.

Hoofdconclusies:

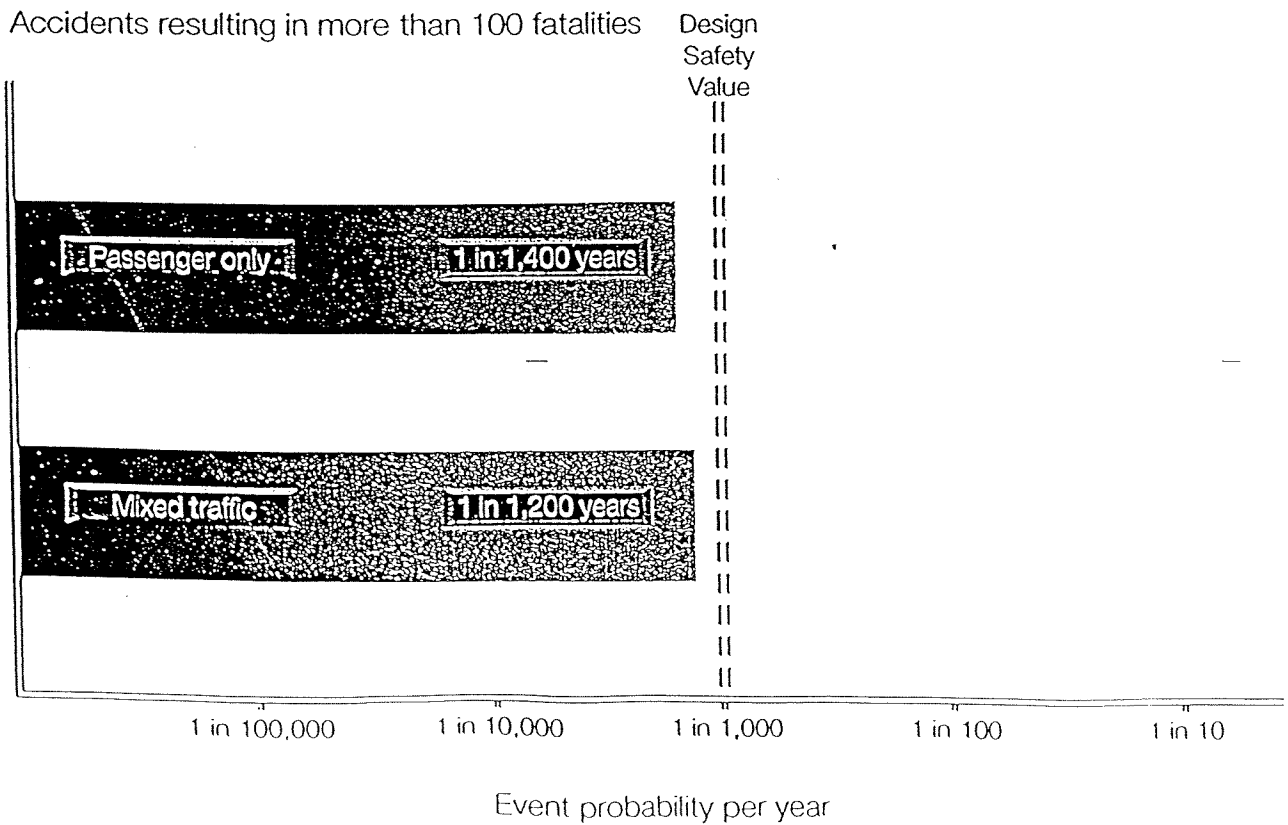
- Uniforme richtlijnen voor procedures in geval van calamiteiten en voor de procesvoering bij Hogesnelheidstreinen zijn van groot belang voor de totale veiligheid. Indien de procesvoering niet is getoetst aan de integrale veiligheidsaanpak moet de veiligheid meer uit andere deelsystemen komen, waardoor niet langer sprake is van een optimaal ontwerp voor veiligheid.
- In het ontwerp van de Channel Tunnel Rail Link wordt veiligheid op een sterk vergelijkbare manier gehanteerd als bij de projectorganisatie HSL-Zuid. Vergelijk de manier waarop de normen tot stand komen en de verdeling in verschillende baanconcepten met verschillende risico-profielen.
- In tegenstelling tot bij de veiligheidsfilosofie van de HSL-Zuid is de volgorde voor veiligheid niet het voldoen aan de normen en vervolgens toepassen van ALARA. Veiligheidsnormen en het ALARA-principe worden bij de CTRL gelijktijdig toegepast en het ALARA-principe is maatgevend bij een conflicterende situatie.

Bijlage H.3: CTRL: Normen voor maatschappelijk risico

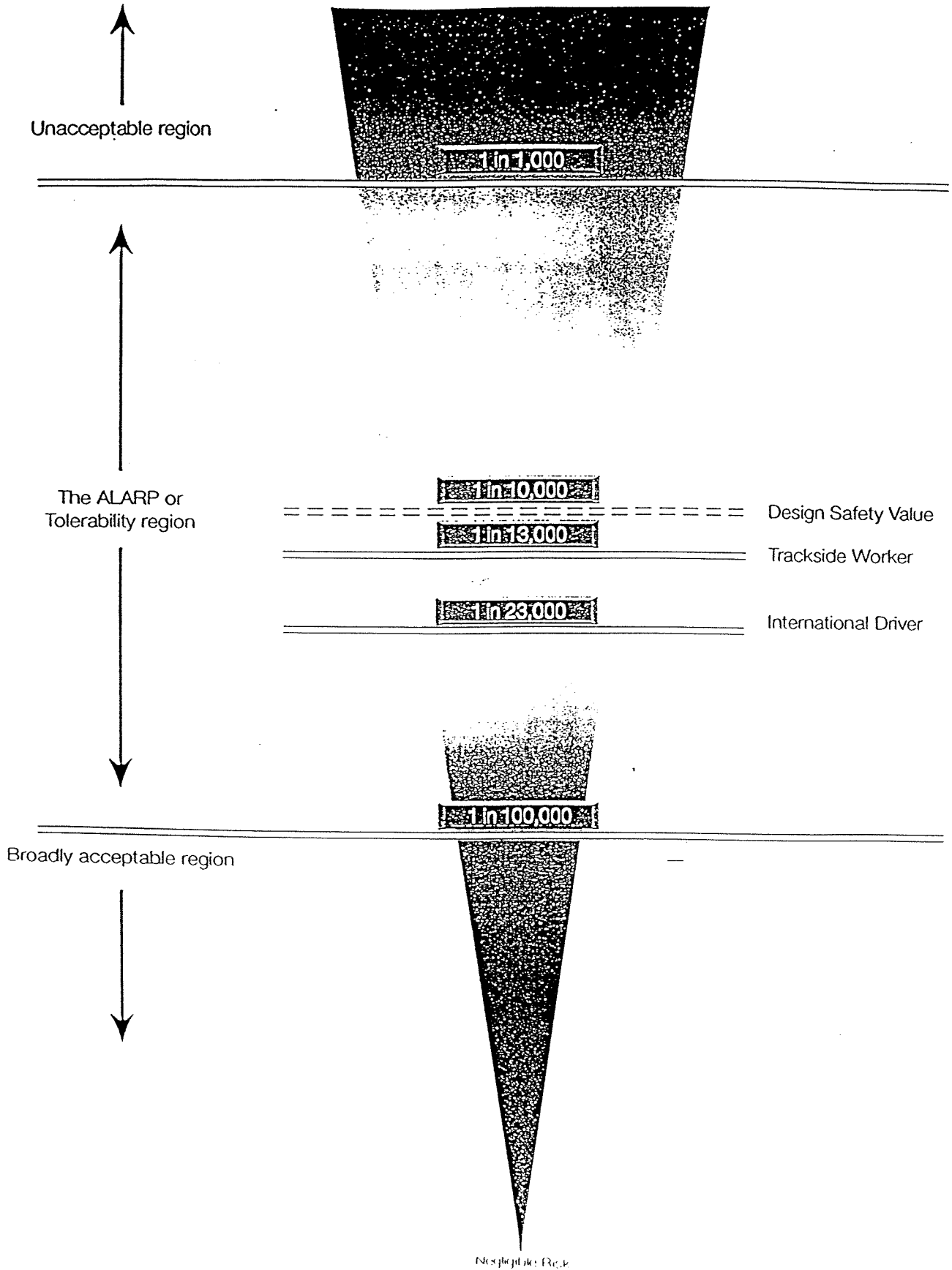
Accidents resulting in more than 10 fatalities



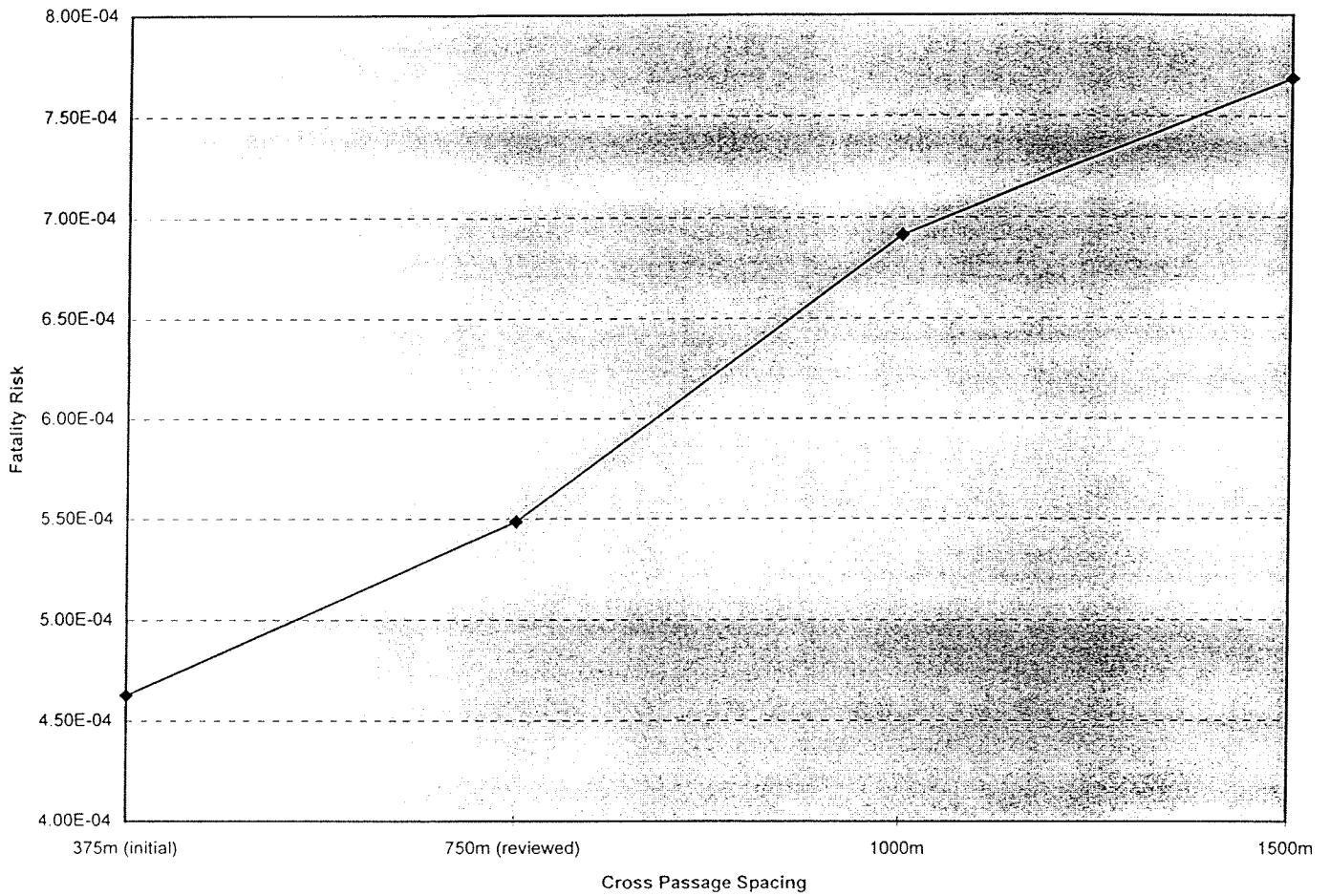
Accidents resulting in more than 100 fatalities



Bijlage H.2: CTRL: Risico-normen voor personeel



Collective Fatality Risk for a Range of Cross Passage Spacings



Bijlage H.4: CTRL: Resultaten risico-analyse voor dwarsverbindingen London Tunnel

London Tunnels - QRA Results For Different Cross Passage Spacing

Risk Measure	DSV	750m (initial)	750m (reviewed)	1000m	1500m
Collective (fatalities/year)	-	1.85e-2	1.92e-2	2.42e-2	2.69e-2
Individual Commuter Risk (fatalities/year)	1e-5	2.69e-7	2.84e-7	3.39e-7	3.62e-7
Individual International Risk (fatalities/year)	1e-5	2.82e-8	2.9e-8	3.86e-8	4.41e-8
Individual International Driver (fatalities/year)	1e-4	3.15e-7	3.31e-7	3.64e-7	3.87e-7
Societal Risk \geq 10 Fatalities (incidents/year)	1e-2	4.91e-4	5.08e-4	7.78e-4	8.5e-4
Societal \geq 100 Fatalities (incidents/year)	1e-3	2.96e-7	2.95e-7	2.97e-7	3.29e-7

1.1 Inleiding

Voor de HSL-Zuid wordt gestreefd naar een veiligheidsniveau dat minimaal gelijk is aan dat van overige vervoersmodaliteiten. Door de mogelijkheden om nieuwe kennis en technieken goed in het ontwerp van het HSL-systeem te integreren wordt een hoger veiligheidsniveau haalbaar geacht in vergelijking met overige vervoersmodaliteiten. [PHZ, september 1997]

Voor de probabilistische normering van het geaccepteerde risiconiveau voor de HSL-Zuid wordt gebruikt gemaakt van twee normen, het persoonlijk risico en de karakteristieke waarde.

Het persoonlijk risico (PR) is gedefinieerd als de overlijdenskans per persoon per jaar, uitgaande van 200 reizen per persoon per jaar. De karakteristieke waarde (KW) is de som van de verwachtingswaarde van het aantal doden per jaar en drie maal de standaardafwijking. De KW geeft een vrijwel zekere bovengrens van het aantal slachtoffers per jaar ten gevolge van een bovenlocale, potentieel gevaarlijke activiteit. [PHZ, september 1997]

De Karakteristieke Waarde is in formulevorm:

$$KW = \mu(N_d) + k\sigma(N_d)$$

KW	=	Karakteristieke Waarde
$\mu(N_d)$	=	Gemiddeld aantal slachtoffers
$\sigma(N_d)$	=	Standaardafwijking of spreiding in het aantal slachtoffers
k	=	Betrouwbaarheidsfactor (ontwerpgrens)

Het precieze aantal slachtoffers waarmee men, met een zekere maximale overschrijdingskans, maatschappelijk rekening wil houden, wordt bepaald door de keuze van k. Voor de k-waarde wordt 3 aangehouden. Indien voor het jaarlijks aantal slachtoffers een normale verdeling wordt verondersteld, dan is de kans op meer dan $\mu + 3\sigma$ slachtoffers per jaar ca. 0,1 %. [Hengel van, oktober 1995] De verdeling van het aantal slachtoffers is echter bij lange na niet met een normale verdeling te benaderen. Een exponentiële verdeling geeft een betere benadering. Bovendien is bij toepassing de feitelijke verdeling bekend.

Voor μ en σ geldt:

$$\begin{aligned}\mu &= N_a * \sum_i (P_{f,i} * N_{d,i}) \\ \sigma &= \{N_a * \sum_i (P_{f,i} * (N_{d,i} - \mu/N_a)^2)\}^{0.5}\end{aligned}$$

N_a = aantal reizen c.q. reizigerskilometers

$N_{d,i}$ = aantal slachtoffers gegeven een ongeval van type i

$P_{f,i}$ = kans op een ongeval van type i

1.2 Veiligheidsvergelijking

1.2.1 Vergelijking conventioneel spoor

In de veiligheidsvergelijking voor de HSL is het risico bij conventioneel treinverkeer berekend. [Hengel van, oktober 1995] Een inventarisatie is gemaakt van treinongevallen in de voorgaande 12 jaren, waarin ca. 131 miljard reizigerskilometers plaatsvonden. 4 Ongevallen met dodelijke slachtoffers hebben plaats gevonden. (Zie figuur 1) De ongevallen ten gevolge van aanrijdingen op overwegen zijn niet meegenomen omdat bij de HSL gelijkvloerse kruisingen ontbreken.

Bijlage I.0: Onderbouwing aanpassing normering maatschappelijk risico HSL-Zuid

1.1 Inleiding	2
1.2 Veiligheidsvergelijking	2
1.2.1 Vergelijking conventioneel spoor	2
1.2.2 Knelpunten berekening Karakteristieke Waarde	3
1.2.3 Normering integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid	3
1.3 Aanpassing normering maatschappelijk risico HSL-Zuid	4
1.3.1 Overwegingen	4
1.3.2 Casuïstiek conventioneel treinverkeer	5
1.3.3 Berekening maatschappelijk risico	6
1.3.4 Vergelijking Karakteristieke Waarden	8
1.3.5 Vergelijking F-N curven	8
1.4 Voorstel normering maatschappelijk risico	9

Bij de aangepaste vervoersprognose voor de HSL van $1,76 \cdot 10^9$ reizigerskilometer per jaar en circa 2 personeelsleden per 100 reizigers wordt de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers onder reizigers en rijdend personeel gelijk aan 0,27 slachtoffers per jaar voor het gehele HSL-systeem.

Voor de standaardafwijking van het aantal slachtoffers wordt uitgegaan van het conventionele treinverkeer voor de geprognostiseerde vervoersomvang van het HSL-systeem. De standaardafwijking is berekend op 0,78 slachtoffers per jaar voor het gehele HSL-systeem. De karakteristieke waarde van het aantal slachtoffers van het conventionele treinverkeer voor de totale vervoersomvang van het HSL-systeem bedraagt hiermee: $KW = 0,27 + 3 \cdot 0,78 = 2.6$ slachtoffers per jaar voor het gehele HSL-systeem.

De gewenste verbetering van het HSL-systeem wordt gesteld op 10 %, wat leidt tot een verwachtingswaarde van 0,23 en een karakteristieke waarde van 2,3 slachtoffers per jaar ten gevolge van het gehele HSL-systeem.

1.3 Aanpassing normering maatschappelijk risico HSL-Zuid

1.3.1 Overwegingen

De normering van de veiligheid voor de HSL-Zuid dient als maat voor de geaccepteerde onveiligheid in het vervoerssysteem door de verschillende betrokkenen. De beschikbare casuïstiek van het conventionele spoor geeft de mate van veiligheid in het conventionele spoor weer.

Bij het gebruik van normen is het van groot belang om onderscheid te maken tussen de onderbouwing van de normering en de toetsing van het systeem aan de normering. De normering kan niet opgesteld worden op basis van een aantal scenario's omdat dit een cirkelredenering introduceert, waarbij de invoerparameters in de scenario's de uiteindelijke ontwerpcriteria vormen.

Om de HSL-Zuid veiliger te ontwerpen dan vergelijkbare vervoerssystemen moet de mate van veiligheid in conventioneel spoor gekwantificeerd worden. Het huidige risiconiveau in conventioneel treinverkeer kan dan, aangevuld met een maatschappelijke waardering van de veiligheid, dienen als basis voor de normering van de HSL-Zuid (zie figuur 2).

Voor de normering van het maatschappelijk risico kan gebruik gemaakt worden van de Karakteristieke Waarde (KW) of de F-N curve. Beide methoden zijn gelijkwaardig, met het onderscheid dat de KW moeilijk eenduidig uitlegbaar is en dat de $F-N^2$ -curve van VROM eenvoudiger uitlegbaar is.

Aantal doden bij ongeval ($N_{d,i}$)	Aantal ongevallen	Ongevalsekans per reizigerskilometer (t.g.v. ongeval)
1	1	$8 \cdot 10^{-12}$
3	2	$1,5 \cdot 10^{-11}$
5	1	$8 \cdot 10^{-12}$

Figuur 1: Relevante dodelijke ongevallen in conventioneel treinverkeer in Nederland (1983-1995)

Van bovenstaande 4 ongevallen had slechts 1 ook met de HSL kunnen gebeuren. (30/11/92; Hoofddorp) Dit betekent een ongevalsekans van $1/131$ miljard = $8 \cdot 10^{-12}$ per reizigerskilometer. Bij dit ongeval vielen 5 doden. Voor een totaal aantal reizigerskilometers van $1,2 \cdot 10^9$ voor de HSL is de Karakteristieke Waarde berekend: [Hengel van, oktober 1995]

$$\mu = 0,05$$

$$\sigma = 0,5$$

$$KW = 1,5$$

Bovenstaande berekening van de Karakteristieke Waarde voor de HSL is gebaseerd op statistiek van het conventionele treinverkeer in Nederland. De verschillen tussen het conventionele treinverkeer en de HSL zijn in de analyse van de statistiek sterk eenzijdig toegepast. Ongevallen op overwegen zijn niet meegeteld en nog een drietal ongelukken met dodelijke afloop is niet meegenomen in de gehanteerde statistiek voor de HSL. Het resultaat is dat de hierboven KW is berekend op basis van één enkel ongeluk in het conventionele spoor, het ongeluk bij Hoofddorp in 1992.

1.2.2 Knelpunten berekening Karakteristieke Waarde

In de vorige paragraaf is de achtergrond van de berekening van de Karakteristieke Waarde voor de HSL-Zuid toegelicht. Deze berekeningsmethode kent echter een aantal knelpunten:

- Het schrappen van een aantal ongevallen dat bij de HSL-Zuid niet kan optreden introduceert een normstelling op basis van één ongeval bij Hoofddorp met 5 doden.
- Een ongevalsekans per reizigerskilometer is geen relevante grootte. Wel relevant is een ongevalsekans per treinkilometer.
- De geïntroduceerde risico's, die veroorzaakt worden door de grotere snelheid zijn niet verdisconteerd in de statistiek van conventioneel spoor en daarmee ook niet in de berekening van de norm voor de HSL-Zuid.
- De geïntroduceerde risico's door de grote hoeveelheid viaducten bij de HSL-Zuid zijn niet verdisconteerd.
- Het aanwezige risico in het conventioneel treinverkeer van een ongeval met zeer grote gevolgen is niet meegenomen, omdat dit in de beschouwde periode van 1984 - 1995 niet is voorgekomen (de botsing bij Harmelen in 1962 met 91 doden of de ontsporing bij Schiedam in 1976 met 24 slachtoffers).

1.2.3 Normering integraal VeiligheidsPlan HSL-Zuid

Uiteindelijk is in het Integraal VeiligheidsPlan gerekend met de volgende waarden voor het conventioneel treinverkeer: Een overlidenskans per reizigerskilometer en per personeelskilometer van $1,5 \cdot 10^{-10}$.

Om bovenstaande casuïstiek te kunnen toepassen voor de validatie van de normering van de HSL-Zuid is een aantal aannamen gedaan:

- De dodelijke ongevallen met reizigers zijn bijna allemaal veroorzaakt in afzonderlijke ongevallen met slechts één gedode reiziger per ongeval. Een uitzondering is het ongeval bij Hoofddorp met 5 doden in 1992.
- De dodelijke ongevallen met personeel zijn bijna allemaal veroorzaakt in afzonderlijke ongevallen met één gedood personeelslid per ongeval. Een uitzondering is het ongeval bij Mook in 1995 met 3 omgekomen baanwerkers.
- Aangenomen is dat geen relatie bestaat tussen de ongevallen met reizigers en personeel.
- Bij de ongevallen op overwegen is 80 % van de slachtoffers veroorzaakt door afzonderlijke ongelukken met één slachtoffer per ongeval. De overige 20 % van de slachtoffers is veroorzaakt bij ongevallen met 2 of meer slachtoffers.
- De ongevallen met passanten zijn allemaal afzonderlijke ongevallen met slechts één gedode passant per ongeval.

Op basis van de casuïstiek van conventioneel spoor (figuur 3) aangevuld met bovenstaande aannamen is een berekening te maken van het aantal dodelijke ongevallen met slechts één slachtoffer (zie figuur 4). In de periode 1984 - 1995 zijn bij ongevallen met één enkel slachtoffer in totaal 53 slachtoffers gevallen bij conventioneel treinverkeer in Nederland. Indien ook de overwegongevallen worden meegenomen zijn dit $53 + 428 = 481$ dodelijke slachtoffers (zie figuur 3 & 4).

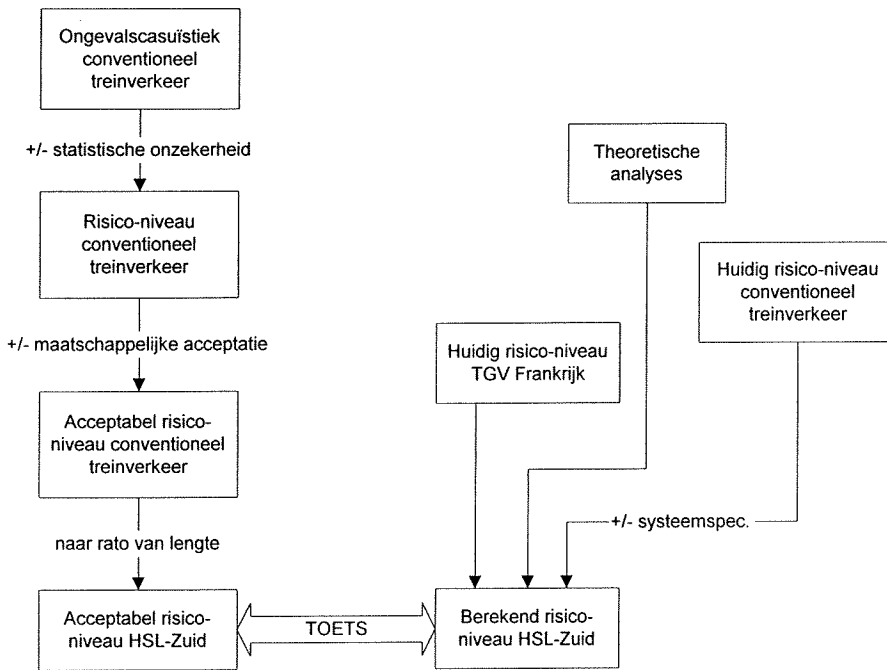
Categorie risicodragers	Aantal ongevallen met 1 slachtoffer	Aantal ongevallen met meer slachtoffers	Aantal ongevallen met meer dan 1 slachtoffer
reizigers	20	1	21
personeel (infra)	15	1	16
personeel (mcn)	3	-	3
personeel (hc,rgr,overig)	7	-	7
overwegverkeer	428	53	481
passanten	8	-	8
suïciden	2333	-	2333

Figuur 4: Overzicht ongevallen met 1 slachtoffer

1.3.3 Berekening maatschappelijk risico

Op basis van de casuïstiek van conventioneel spoor kan de $F-N^2$ curve gevalideerd worden. Voor de periode van 12 jaar is het aantal slachtoffers op het conventionele spoor te berekenen. Het conventionele spoor heeft een lengte van circa 3000 kilometer en de HSL-Zuid heeft een lengte van circa 100 kilometer. Met deze gegevens is het veiligheidsniveau op conventioneel spoor te schalen naar een norm voor het veiligheidsniveau van de HSL-Zuid, naar rato van lengte.

De casuïstiek in figuur 4 laat een groot aantal suïcidalen zien dat in de normering als een afzonderlijke groep beschouwd moet worden. De hoeveelheid ongevallen op spoorwegovergangen is ook aanzienlijk groot in vergelijking met de overige ongevallen. Dit type ongeval is echter ook een direct gevolg van het vervoerssysteem. Een groot verschil tussen de ongevallen op spoorwegovergangen en de overige ongevallen in het spoor is de mate van acceptatie. De mate van geaccepteerde onveiligheid bij conventioneel spoor is dan ook zeker niet vast te stellen door alle ongevallen te sommeren. Vanuit dit oogpunt zijn berekeningen gemaakt van de veiligheid voor de HSL-Zuid met 0 % invloed van de ongevallen op spoor-



Figuur 2: Schematisatie normering

Voorstel

Op basis van bovenstaande overwegingen is aan te bevelen om de normering van de HSL-Zuid aan te passen. De F-N²-curve wordt toegepast waardoor de relatie is vastgelegd tussen ongevallen met kleine gevolgen en ongevallen met grote gevolgen. De ligging van de F-N²-curve zal worden gevalideerd door toepassing van casuïstiek van conventioneel spoor in Nederland, voor ongevallen met één enkel slachtoffer.

1.3.2 Casuïstiek conventioneel treinverkeer

In het Spoorwegveiligheidsplan van Railned is een overzicht van de ongevallen met dodelijke slachtoffers gegeven (zie figuur 3).

	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	Totaal
Reizigers	1	1	0	1	3	5	2	0	9	3	0	0	25
Personeel, infra	1	3	2	1	0	3	1	0	0	1	1	5	18
Personeel, mcn	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
Personeel, hc	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Personeel, rgr	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	4
Personeel, overig	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Overwegverkeer	43	48	64	47	40	28	55	47	38	42	38	45	535
Passanten	-	-	-	-	-	1	0	1	1	1	1	3	8
Suïciden	189	162	184	195	196	232	180	189	226	185	215	180	2.333

infra = baanwerkers; mcn = machinist; hc = hoofdconductor; rgr = rangeerder

Figuur 3: Casuïstiek Nederlands conventioneel treinverkeer (1984 - 1995)

Variant	N (slachtoffers conv. spoor, 12 jaar)	C (slachtoffers HSL-Zuid ,per jaar)	μ	σ	KW
1	$53 + 428 = 481$	1.34	2.68	4.30	15.6
2	$53 + 385 = 438$	1.22	2.44	4.11	14.8
3	$53 + 214 = 267$	0.74	1.48	3.20	11.1
4	53	0.15	0.30	1.44	4.62
5	$53 - (0.25 * 20) = 48$	0.13	0.26	1.34	4.28
6	$53 - (0.9 * 15) = 40$	0.11	0.22	1.23	3.91
7	$53 - 5 - 13 = 35$	0.10	0.20	1.18	3.74

Figuur 5: Overzicht verschillende varianten

Een overzicht van de F-N² curven voor de verschillende varianten is weergegeven in bijlage I.1.

1.3.4 Vergelijking Karakteristieke Waarden

Voor een traject van 60 kilometer geldt voor de omgerekende verwachtingswaarde en standaardafwijking van het aantal doden per jaar het volgende (zie figuur 6):

Project	Dodelijke slachtoffers per jaar (traject van 60 km)			
	μ	σ	KW	
Kanaaltunnel	0.7	10	31	
Channel Tunnel Rail Link	0.7	10	31	
Störebelttunnel	0.05	5	15	
Westerschelde Oeververbinding	0.63	1.12	4	
HSL-Zuid (Integraal VeiligheidsPlan)	0.23	0.78	2.3	
HSL-Zuid (aangepast)	Variant 1	1.61	3.34	11.6
	Variant 2	1.46	3.18	11.0
	Variant 3	0.89	2.48	8.3
	Variant 7	0.12	0.91	2.9

Figuur 6: Vergelijking Karakteristieke Waarde

Figuur 6 laat zien dat de normering volgens het Integraal VeiligheidsPlan erg laag is in verhouding met buitenlandse infrastructurele projecten. De F-N²-curve die is gevalideerd met een groot percentage van de overwegongevallen komt na omrekening naar de Karakteristieke Waarde goed overeen met de internationale projecten.

1.3.5 Vergelijking F-N curven

De F-N curve voor de Kanaaltunnel is tot stand gekomen door de F-N curve van het conventionele Engelse spoor te schalen naar het risiconiveau voor de Kanaaltunnel. Het aantal reizigerskilometers per jaar in de Kanaaltunnel is een factor 18 lager dan in het conventionele Engelse spoor.

Voor de Channel Tunnel Rail Link wordt een vergelijkbaar risiconiveau voor het maatschappelijk risico gehanteerd. Voor reizigerstreinen worden de volgende normen gehanteerd:

- één incident in de 140 jaar met meer dan 10 doden; $7,1 * 10^{-3}$ ongevallen per jaar
- én incident in de 1.400 jaar met meer dan 100 doden; $7,1 * 10^{-4}$ ongevallen per jaar

wegovergangen en met 50 %, 90 % en 100 % invloed. Het beleid voor conventioneel spoor is om overwegen met meer dan 4 sporen op te heffen, wat een reductie van circa 10 % in het aantal slachtoffers moet opleveren in 2015. Daarnaast wordt in het conventionele spoor gestreefd om het aantal ongevallen met reizigers met 25 % te reduceren en het aantal ongevallen met baanwerkers met 90 % te reduceren.

De volgende varianten zijn berekend:

- Variant 1: Alle ongevallen inclusief ongevallen op spoorwegovergangen
- Variant 2: Alle ongevallen met 90 % ongevallen op spoorwegovergangen
- Variant 3: Alle ongevallen met 50 % ongevallen op spoorwegovergangen
- Variant 4: Alle ongevallen, zonder ongevallen op spoorwegovergangen
- Variant 5: Alle ongevallen, zonder ongevallen op spoorwegovergangen, met 25 % reductie van de reizigerso
- Variant 6: Alle ongevallen, zonder ongevallen op spoorwegovergangen, met 90 % reductie van de ongeva
werkers
- Variant 7: Alle ongevallen, zonder ongevallen op spoorwegovergangen, met 25 % reductie van de
reizigersongevallen en 90 % reductie van de ongevallen met baanwerkers

Voor alle varianten gelden de volgende waarden:

N = aantal relevante slachtoffers voor conventioneel spoor (1984-1995)

$L_{\text{conv. spoor}} \approx 3.000 \text{ km}$

$L_{\text{HSL-Zuid}} \approx 100 \text{ km}$

C = constante in $F-N^2$ -curve

Er geldt:

$$C = (N / (12 \text{ jaar} * L_{\text{conv. spoor}})) * L_{\text{HSL-Zuid}}$$

Het gemiddelde en de standaardafwijking van de $F-N^2$ curve kunnen berekend worden m.b.v. de bijlage C uit het Integraal VeiligheidsPlan. De $F-N^2$ curve wordt geschematiseerd als een inverse kwadratische Pareto verdeling. Er geldt:

$$1-F = C/x^2$$

$$\mu \approx 2C$$

$$\sigma \approx \sqrt{(2CLnN_{\text{max}})}$$

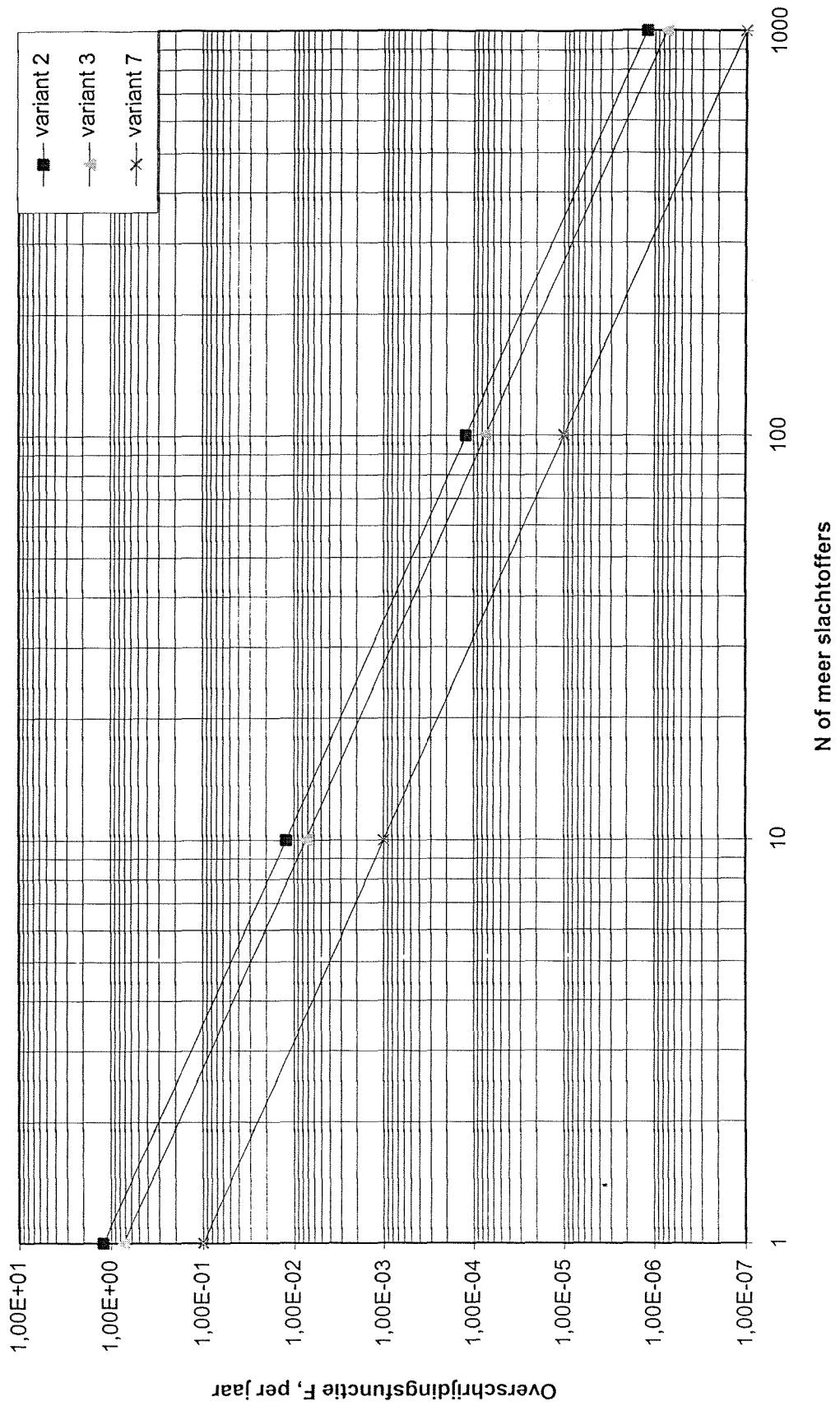
met $N_{\text{max}} = 1.000$ slachtoffers per ongeval

De Karakteristieke waarde wordt als volgt berekend:

$$KW = \mu + 3 * \sigma$$

Het resultaat is weergegeven in figuur 5 en bijlage I.1.

Bijlage I.1: Vergelijking F-N curven
traject van 100 km



Het maximaal toelaatbare risiconiveau in de Störebelttunnel is tot stand gekomen door een vergelijking te maken met auto- en spoorwegen op het Deense vasteland. Dit resulteert in de volgende normering:

- 1-19 doden: $3 \cdot 10^{-3}$ ongevallen per jaar
- 20-200 doden: $5 \cdot 10^{-6}$ ongevallen per jaar
- meer dan 200 doden: $1 \cdot 10^{-6}$ ongevallen per jaar

Voor de vergelijking van de $F-N^2$ curven zijn alle frequenties omgerekend naar waarden per kilometer tracé. Voor de Kanaaltunnel is gerekend met 50 km, voor de HSL-Zuid met 100 km en voor de Störebelt-tunnel met 21 km.

De F-N curve van de CTRL en de Kanaaltunnel zijn vergelijkbaar. Als deze curve vergeleken wordt met de voorgestelde normering voor de HSL-Zuid blijkt dat grote overeenkomsten bestaan. De helling van F-N curven van de HSL-Zuid is steiler, waarmee een grotere aversie tegen ongevallen met grote gevolgen wordt weergegeven.

In bijlage I.2 zijn de verschillende $F-N^2$ curven weergegeven.

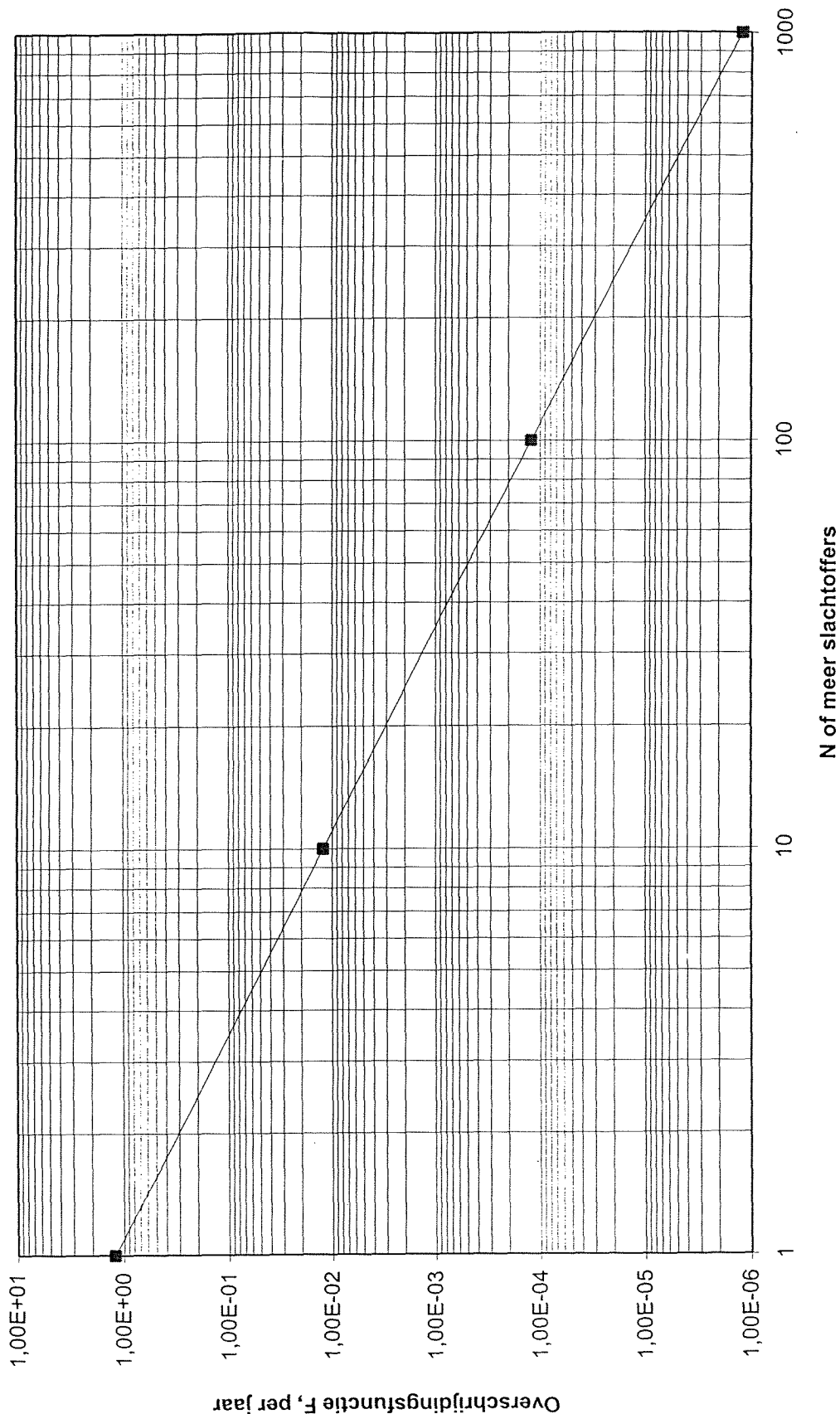
1.4 Voorstel normering maatschappelijk risico

Op basis van bovenstaande berekening en de vergelijking met de overige infrastructurele projecten is een aanpassing van de normering voor maatschappelijk risico gewenst. Voor de berekening van het geaccepteerd veiligheidsniveau in conventioneel spoor is een percentage van de overwegongevallen relevant. De variant waarbij 90 % van de spoorwegongevallen is meegewogen (variant 2) vormt een goede indicatie voor het geaccepteerd veiligheidsniveau. De snelheid waarmee spoorwegoverwegen bij conventioneel spoor opgeheven worden, zorgt voor een reductie van 10 % van het aantal ongevallen in 2015.

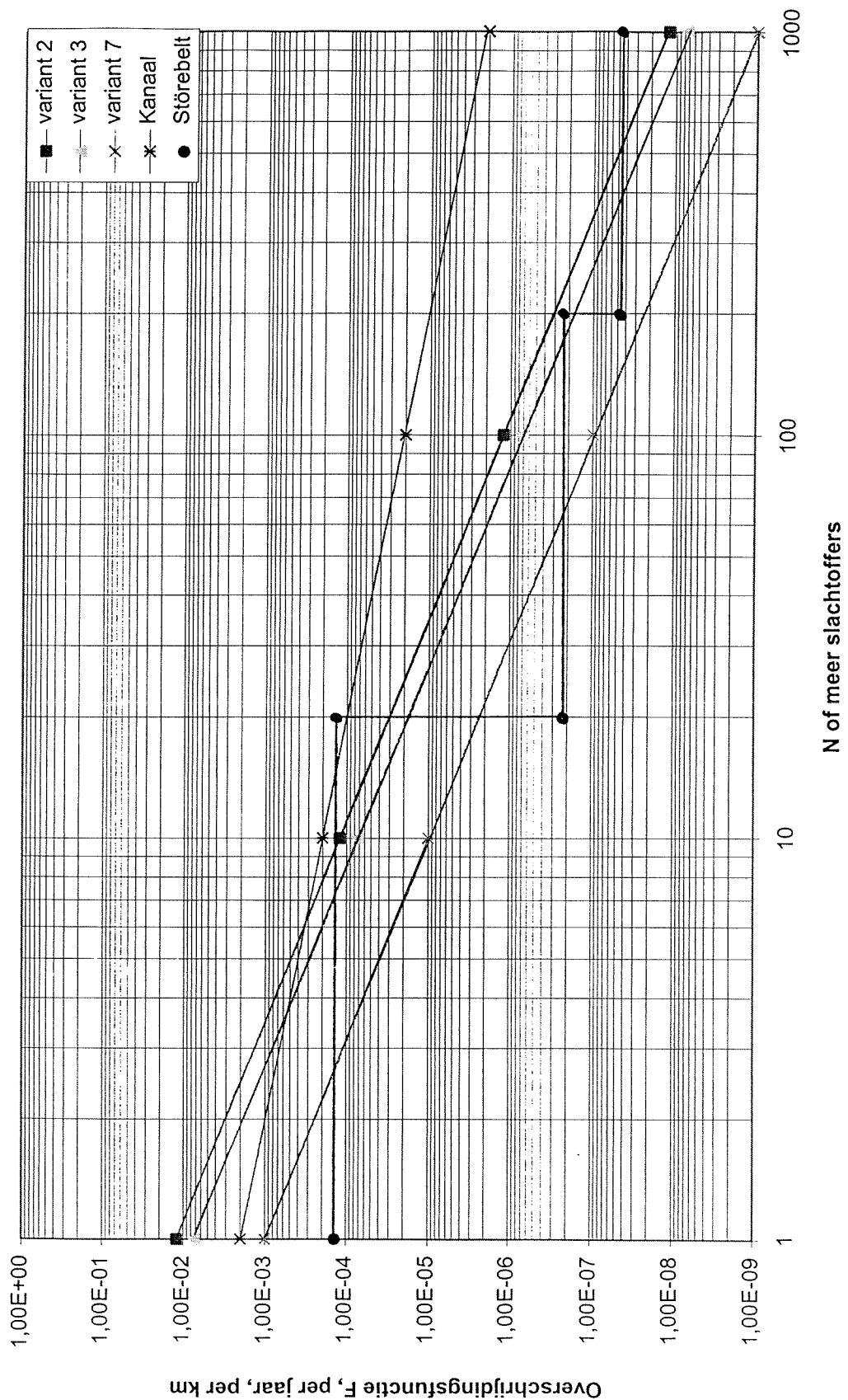
De vergelijking met de internationale projecten toont een veiligheidsniveau van vergelijkbare orde met het veiligheidsniveau, zoals berekend volgens variant 2.

Het voorstel is om voor de normering van de HSL-Zuid voor maatschappelijk risico uit te gaan van de $F-N^2$ curve, zoals weergegeven in bijlage I.3. Deze $F-N^2$ curve is berekend volgens variant 2, waarbij 90 % van alle ongevallen op spoorwegovergangen is meegewogen. Bij deze $F-N^2$ curve hoort een Karakteristieke Waarde van 14,8 slachtoffers per jaar voor het gehele systeem.

Bijlage I.3: F-N curve maatschappelijk risico HSL-Zuid
traject van 100 km



Bijlage I.2: Vergelijking F-N curven per kilometer



- deksels, deuren en kleppen, die toegang geven tot ruimten, waarin zich hoogspanningsapparatuur bevindt, alsmede vaste afdekkappen van deze apparatuur, worden van een goed zichtbare hoogspanningspijl voorzien. Hoogspanningsvoerende delen worden beveiligd tegen aanraking.
- de toegang tot apparatenkasten en overige ruimten waarin hoogspanning aanwezig kan zijn en waarin in verband met storingen of korte-termijn-onderhoud regelmatig werkzaamheden worden verricht, zijn in een vergrendelprocedure opgenomen. De vergrendelprocedure van deze kasten en ruimten wordt in nader overleg met NS vastgesteld. Voor de afsluiting van hoogspanningskasten en -ruimten die niet regelmatig hoeven te worden geopend, kunnen andere maatregelen zijn getroffen, zoals afsluiting met bouten.
- de spanningen 220/380 Vac, 110 Vdc en 72 Vdc moeten buiten de technische ruimten volledig afgeschermd zijn.

De volgende functies worden als veiligheidsfuncties aangemerkt:

1. snelremming¹⁾ uitvoeren, geïnitieerd door machinist
2. snelremming¹⁾ uitvoeren, geïnitieerd door ATB-installatie
3. snelremming¹⁾ uitvoeren, geïnitieerd door dodemaninstallatie
4. snelremming¹⁾ uitvoeren, na bediening noodremtrekker (incl. signalering aan machinist)
 - ¹⁾ Bij een snelremming dient een remvertraging te worden gerealiseerd overeenkomstig met of groter dan het vereiste rempercentage van de trein. Tevens dient een opdracht gegeven te worden om de tractietrekkraft af te schakelen.
5. remming uitvoeren als gevolg van treinbreuk
6. parkeerremming handhaven
7. controleren aanwezigheid en handelingsbekwaamheid machinist
8. ATB-installatie
9. uitschakelen trekkraft bij snelremmingen
10. niet inschakelen trekkraft indien niet gevraagd
11. op werkdruk brengen en houden van pneumatisch net
12. sluiten en gesloten houden van de deur tijdens rijden in de reizigersdienst (incl. signalering)
13. openen en geopend houden door middel van noodbediening bij lage snelheid
14. voorkomen van inklemmen van reizigers bij dichtgaan van de deuren
15. geven van het vertrekbevel
16. front- en sluitseinen
17. noodverlichting interieur (vluchtroutes uit trein)
18. inschakelen en in werking houden van lage en hoge tonen typhoon
19. zicht bieden op de infrastructuur voor de machinist
20. geleiding van de trein in x-, y- en z-richting; ophanging van onderdelen
21. gekoppeld houden van treindelen

Bijlage J.1: Systeembeschrijving materieel

2 Functies

Een trein wordt gebruikt om op een spoor te rijden en zo, met behulp van bedienend personeel, objecten te vervoeren. Deze objecten kunnen zowel reizigers als goederen betreffen. Ook een combinatie van beide in één trein is denkbaar.

Door NS wordt het van groot belang geacht, dat naast de bots- en ontsporingsveiligheid, de treinen zo ontworpen zijn dat een voldoende mate van veilig functioneren wordt gegarandeerd.

Onder veiligheid wordt verstaan: "zekerheid dat geen lichamelijk letsel ontstaat".

Om dit te kunnen realiseren wordt onderscheid gemaakt in vier hoofdfunctiegroepen:

A: Veiligheidsfuncties

B: Performancefuncties

C: Comfortfuncties

D: Toeleverende en hulpfuncties

Er is sprake van overlappings van functies uit de categorie A en de functies uit de andere categorieën. Functies uit de categorie D staan niet direct in relatie tot het vervoer van reizigers, maar zijn nodig voor de realisatie van de functies in de categorieën A, B en C.

Bij de realisatie van de verschillende functies dient rekening te worden gehouden met de eisen ten aanzien van de veiligheid, beschikbaarheid en de bedrijfszekerheid.

2.1 Veiligheidsfuncties

Voor veiligheidsfuncties gelden de volgende ontwerpcriteria:

- 1 één enkelvoudig defect aan één enkele component- met inachtneming van defecten die als gevolg hiervan kunnen optreden- mag er niet toe leiden dat een trein zijn veiligheidsfunctie(s) niet langer (geheel) kan vervullen
- 2 indien twee defecten tezamen er toe kunnen leiden dat een veiligheidsfunctie niet langer kan worden vervuld, dan dienen deze defecten onafhankelijk van elkaar te zijn en zich na optreden op een niet gevaarlijke wijze te manifesteren. Hierbij dient gewaarborgd te zijn dat de kans op optreden van het tweede defect, voordat het eerste defect is opgemerkt en verholpen, voldoende klein is.
- 3 indien bepaalde delen niet voldoen aan de hierboven genoemde ontwerpcriteria, dan is dit slechts acceptabel onder de voorwaarde dat de kans op onveilig falen verwaarloosbaar klein is.

Bij het bovenstaande dient rekening te worden gehouden met het feit dat de normale bedieningsorganen op elk willekeurig moment kunnen worden bediend.

Als algemene richtlijnen in verband met de veiligheid geldt dat zowel in de reizigersafdeling als in de dienstruimten uitstekende delen en scherpe kanten, waaraan passagiers of personeel zich onder normale omstandigheden of bij botsingen kunnen verwonden, worden vermeden. Ten behoeve van het onderhoudspersoneel worden ook onder het materieel scherpe uitstekende delen zoveel mogelijk vermeden.

- punten en hoeken van ophangbeugels en dergelijke worden afgerond.
- alle in het materieel toegepaste ruiten worden vervaardigd van een goede kwaliteit gehard spiegelglas met een minimum dikte van 5 mm. Hiervan zijn uitgezonderd de glazen ruitjes van de meetinstrumenten en de afdekruitjes van noodvoorzieningen.

De volgende comfortfuncties kunnen in ieder geval worden aangemerkt:

1. verwarming, ventilatie en airconditioning cabine
 2. verwarming, ventilatie en airconditioning hc-ruimte en reizigerscompartimenten (incl. toiletten en balkons)
 3. ruitverwarming frontruit
 4. verlichting cabine
 5. verlichting hc-ruimte en reizigerscompartimenten (incl. toiletten en balkons)
 6. stuurtafelverlichting (incl. meterverlichting en tijdtafelverlichting)
 7. reizigersomroep
 8. treintelefoon
 9. PTT telefoon/fax
 10. communicatie met verkeersleiding (telerail, onder omstandigheden een veiligheidsfunctie)
 11. bestemmingsaanduiding (incl. andere informatie t.b.v. de reizigers)
 12. zitplaatsen bieden
 13. zitplaatsreservering
 14. video en radio
 15. diagnosesysteem
 16. automatische ritregistratie
17. overige functies t.a.v. comfort zoals loopeigenschappen, zitcomfort, interieur, waterhuishouding

2.3 Toeleverende en hulpfuncties

De toeleverende functies staan niet direkt in relatie tot het vervoer van reizigers, maar zijn noodzakelijk voor de realisatie van de veiligheids-, performance- en comfortfuncties. Dit betekent dat ook in het ontwerp van de toeleverende functies rekening dient te worden gehouden met de in dit hoofdstuk geformuleerde criteria voor de veiligheids-, performance- en comfortfuncties.

Als toeleverende en hulpfuncties kunnen in ieder geval worden aangemerkt:

1. hoogspanningsvoeding
2. laagspanningsvoeding
via omzetting uit hoogspanningsvoeding incl. batterijlading
direct uit batterijen
3. luchtvoorziening
4. informatietransport via datatransmissiesystemen en treinbedrading
5. informatiebewerking door (programmeerbare) elektronica en logische (relais) schakelingen
6. bedrijfskeuze, opstarten en afbouwen
7. bediening algemeen

2.2 Performance- en comfortfuncties

Een trein dient in principe zodanig te worden geconstrueerd dat een enkelvoudig defect aan één enkele component- met inachtneming van defecten die als gevolg hiervan op kunnen treden- niet leidt tot een zodanig functieverlies dat het zelfstandig rijden van de treinstam (vrijwel) onmogelijk is. De primaire functie van de trein moet vervuld kunnen blijven.

Voor de performancefuncties geldt:

- Eén enkelvoudig defect aan een component of systeem - met inachtneming van defecten die als gevolg hiervan kunnen optreden - mag er niet toe leiden dat in de hele treinsamenstelling een performancefunctie uitvalt.
- Verminderde performance wordt geaccepteerd mits dit wordt gemeld. Onder verminderde performance bij één enkelvoudig defect wordt verstaan:
 - uitval van maximaal één lokale tractieinstallatie of uitval van een deel van de centrale tractiebesturing, waarbij tenminste 50% van het aanzetkoppel op treinniveau beschikbaar dient te blijven
 - uitval van maximaal één lokale reminstallatie of uitval van een deel van de centrale rembesturing, waarbij tenminste 50% van het bedrijfsremkoppel per rijtuig beschikbaar dient te blijven
 - uitval van maximaal één lokaal deursysteem of uitval van een deel van de centrale deurbesturing, waarbij tenminste alle deurfuncties van één balkon aan beide zijden per rijtuig beschikbaar dienen te blijven
- Ook enkelvoudige defecten aan meerdere lokale systemen mogen er niet toe leiden dat een performance functie in de hele treinsamenstelling uitvalt. De trein moet in ieder geval zelfstandig kunnen blijven rijden en de reizigers dienen in ieder geval de trein via de normale toegangswegen te kunnen verlaten.
- Indien bepaalde systeemdelen niet aan genoemde eisen voldoen dient de leverancier aan te tonen dat de bedrijfszekerheid van deze delen dusdanig hoog is dat de kans op falen verwaarloosbaar klein is.

Voor de comfortfuncties gelden dezelfde criteria als voor de performance functies. Verminderd comfort is acceptabel mits dit wordt gemeld. Onder verminderd comfort bij één enkelvoudig defect wordt verstaan: uitval van een comfortfunctie in maximaal één rijtuig. Ook bij enkelvoudige defecten aan meerdere systemen dient de trein in ieder geval de dienst te kunnen uitrijden met normaal comfortniveau in die rijtuigen waar geen defecten aanwezig zijn.

De volgende performancefuncties kunnen in ieder geval aangemerkt worden:

1. leveren tractievermogen
2. automatisch regeling van de snelheid
3. anti-slipfunctie vervullen
4. leveren remvermogen t.b.v. bedrijfsremming
5. anti-blokkeerfunctie vervullen
6. centraal sluiten en vergrendelen (incl. sluitfluit) van de buitendeuren
7. centraal ontgrendelen van de buitendeuren
8. lokaal openen en sluiten van de buitendeuren
9. lokaal openen en sluiten van de binnendeuren
10. mogelijkheid bieden tot koppelen en ontkoppelen (mechanisch, pneumatisch, elektrisch, optisch)

Amsterdam
Schiphol

Rotterdam

Antwerpen

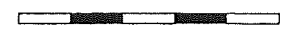
Brussel

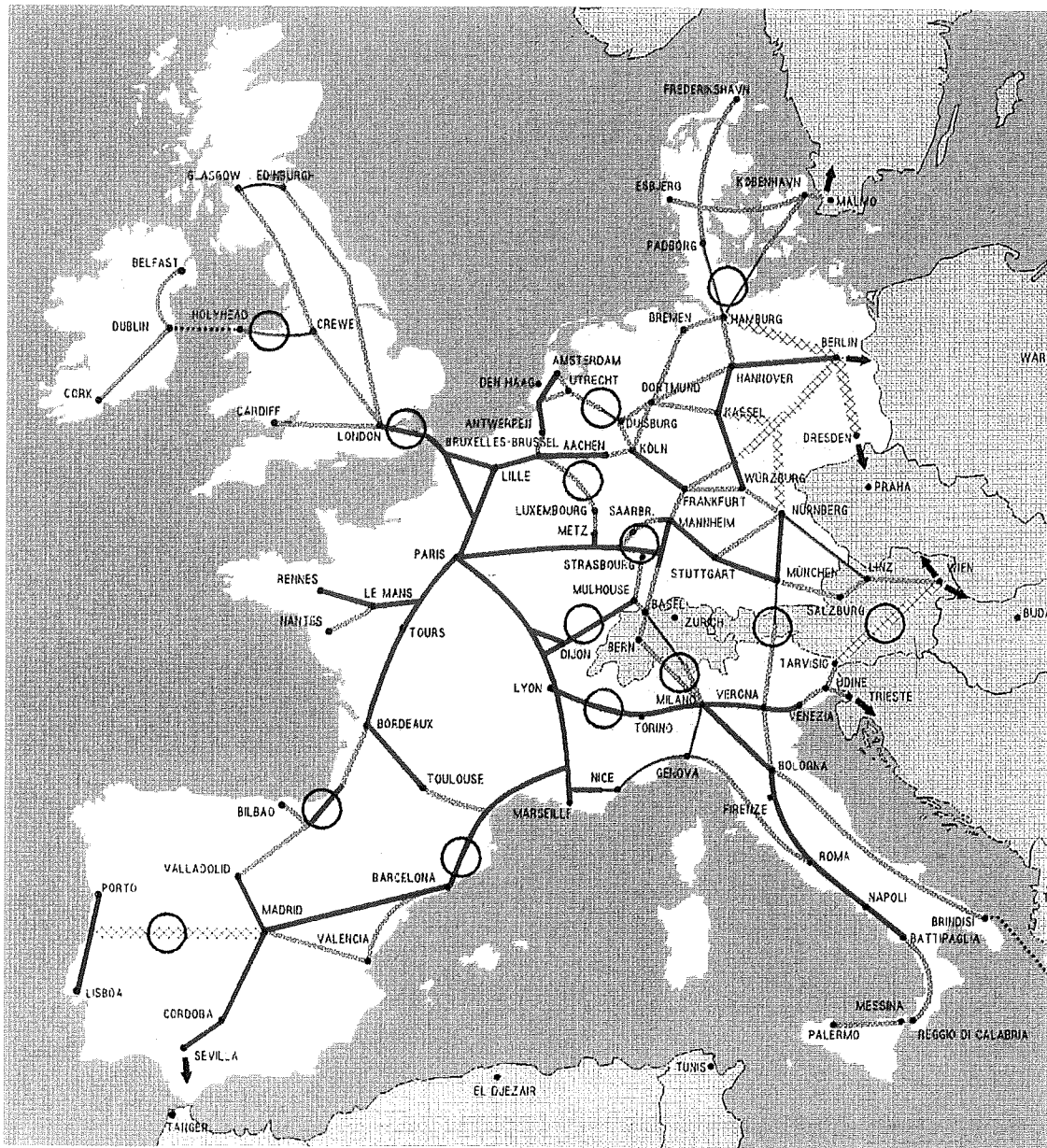
Lille

Hogesnelheidslijn Zuid

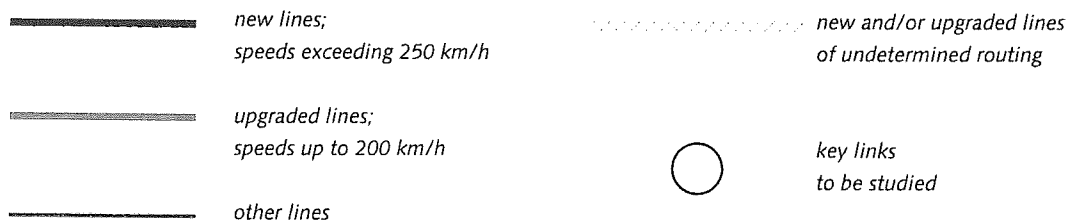
maart 1998

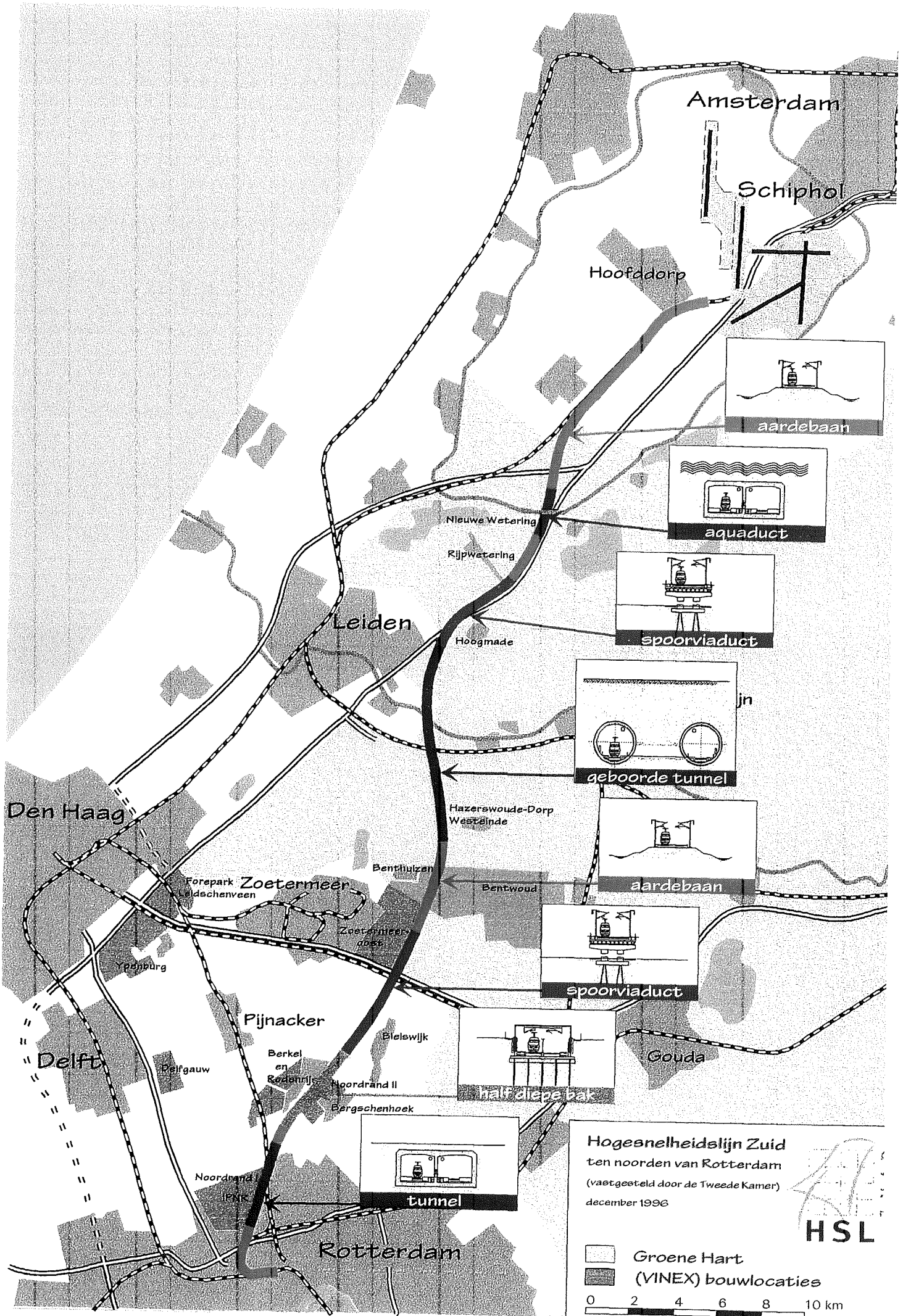
50 km







High speed railroads in Europe



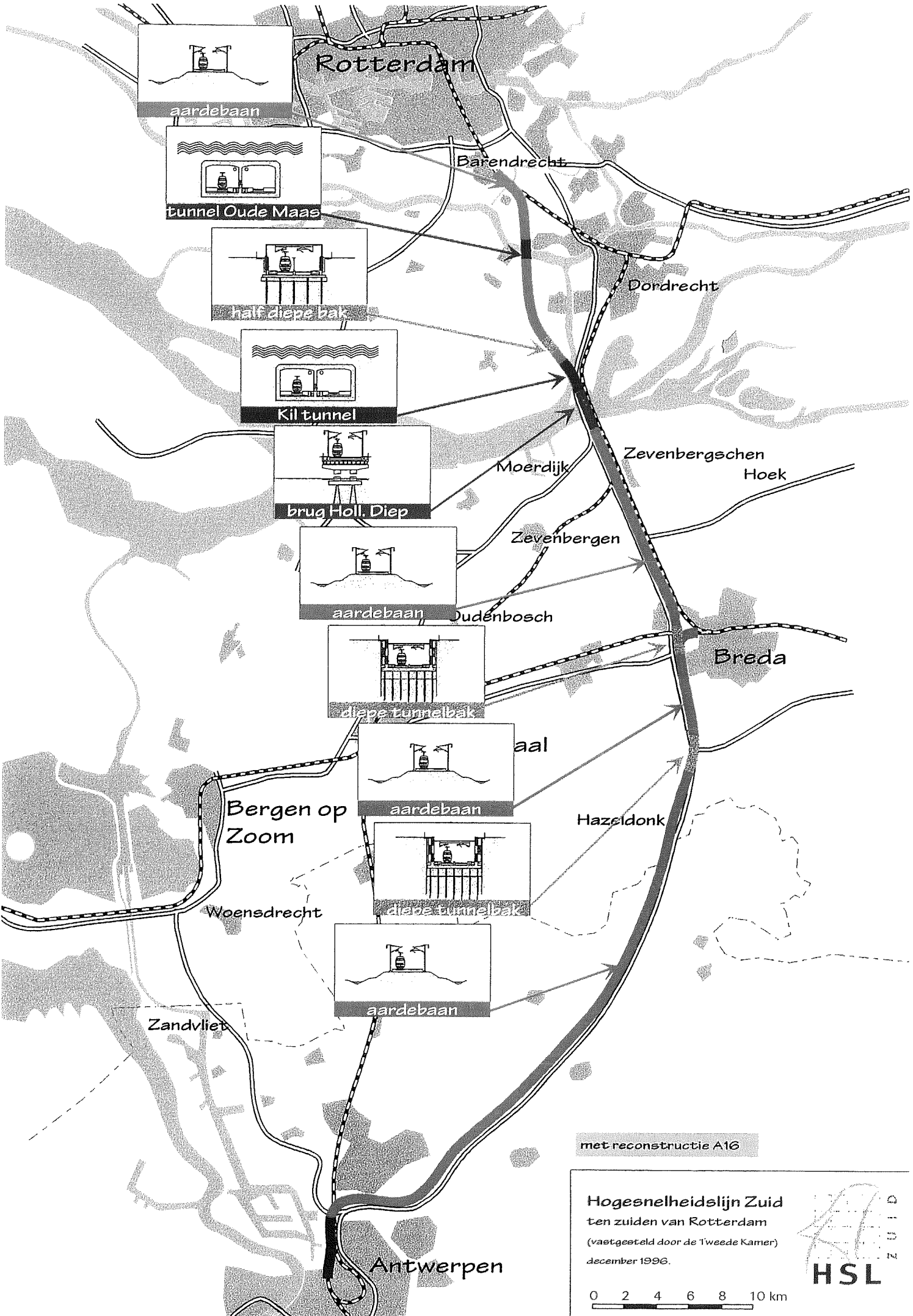


Hoge snelheidslijn Zuid
 ten noorden van Rotterdam
 (vaetgeeteld door de Tweede Kamer)
 december 1996



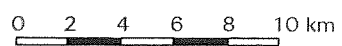
 Groene Hart
 (VINEX) bouwlocaties

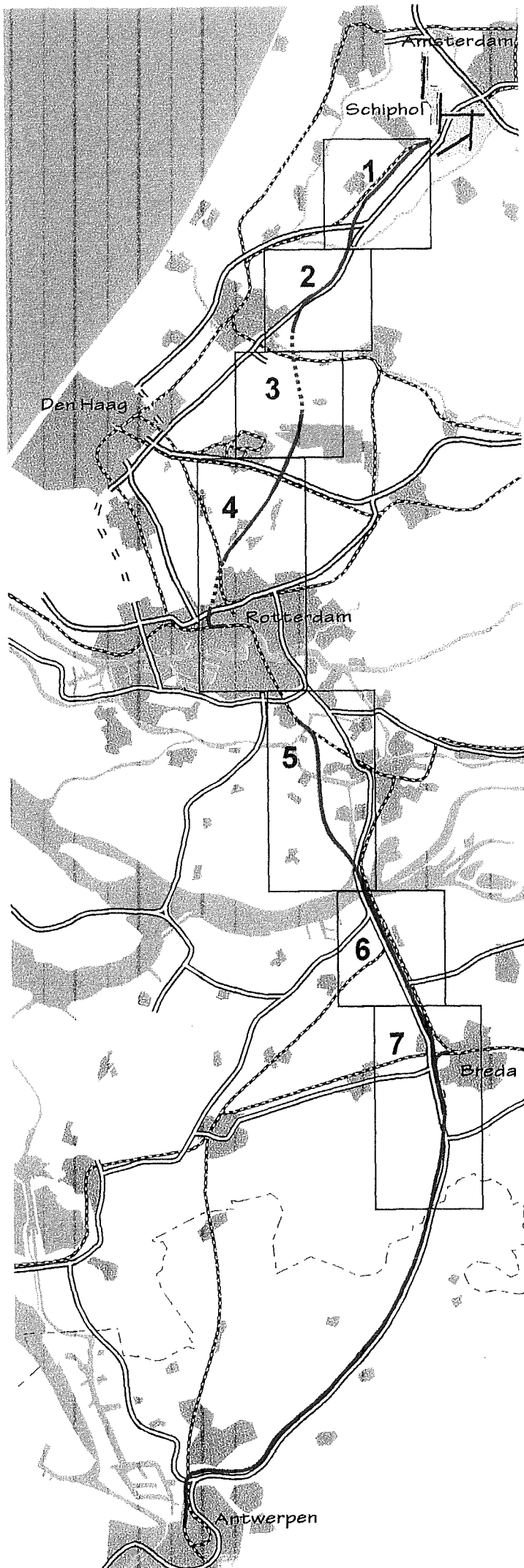




met reconstructie A16

Hogesnelheidslijn Zuid
 ten zuiden van Rotterdam
 (vastgesteld door de Tweede Kamer)
 december 1996.





Deelrapport 1
Haarlemmermeer

Deelrapport 2
Alkemade, Jacobswoude
Leiderdorp

Deelrapport 3
Rijnwoude, Zoetermeer

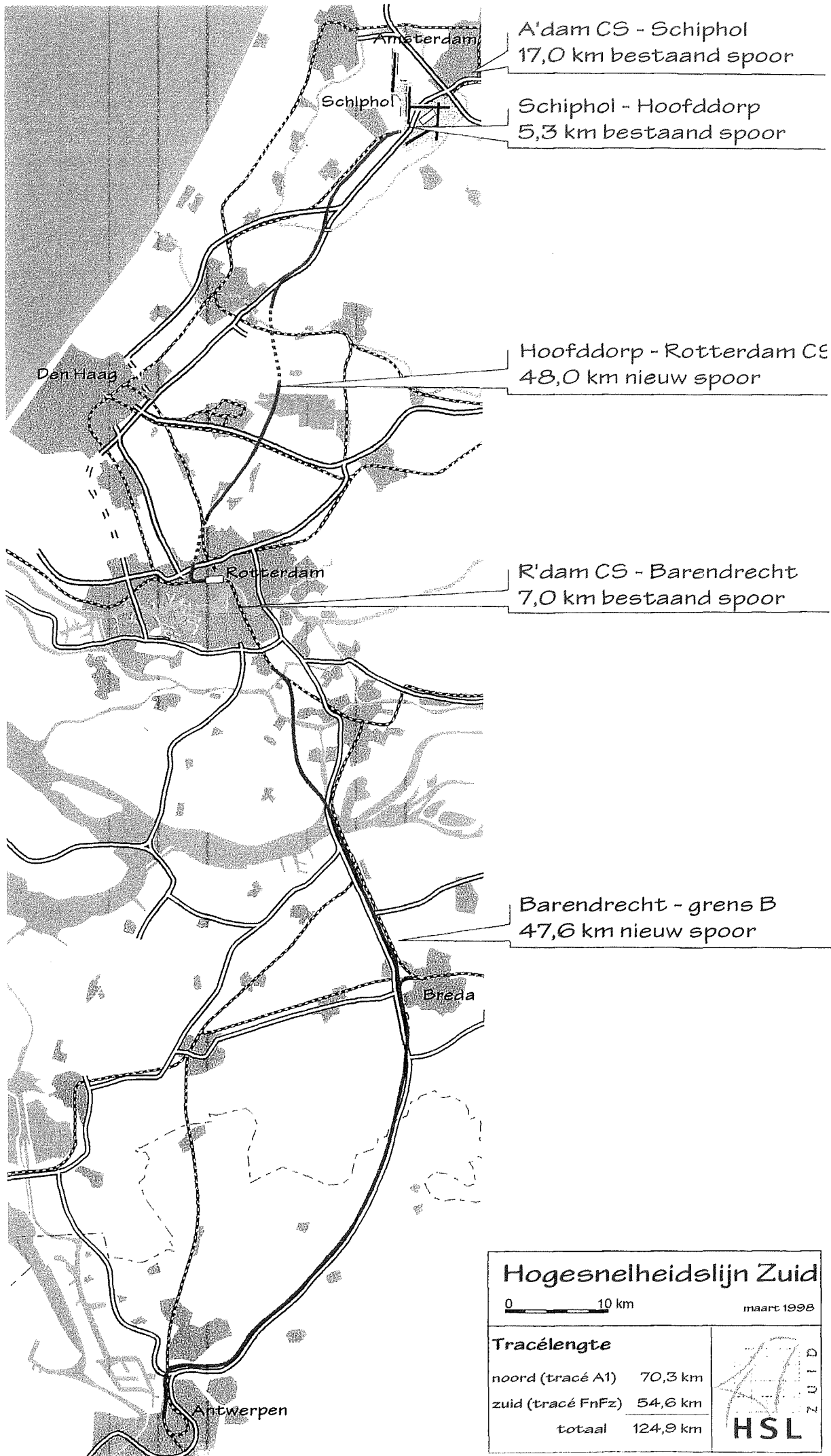
Deelrapport 4
Bleiswijk, Berkel en Rodenrijs,
Bergschenhoek, Rotterdam

Deelrapport 5
Barendrecht, Heerjansdam
Zwijndrecht, Binnenmaas,
's-Gravendeel, Strijen, Dordrecht

Deelrapport 6
Zevenbergen, Made

Deelrapport 7
Breda, Zundert,
Alphen en Chaam

Hogesnelheidslijn Zuid	
0 — 10 km	maart 1998
Ontwerp Tracébesluit: 7 deelrapporten	

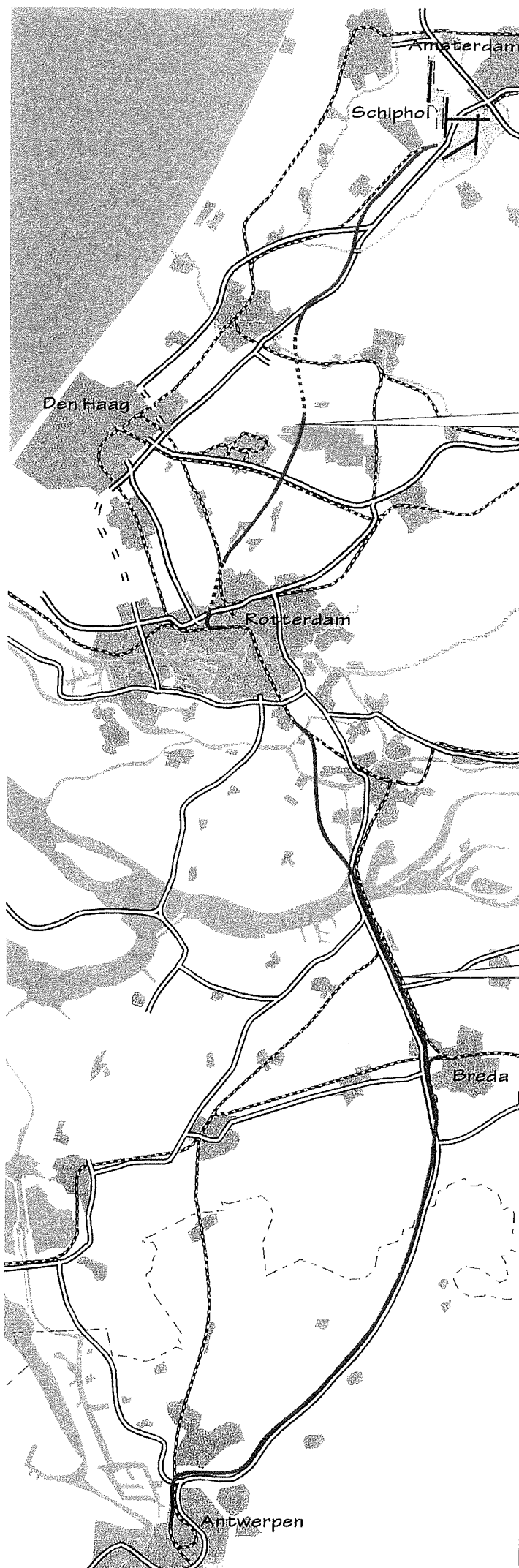


Hogesnelheidslijn Zuid

0 10 km maart 1998

Tracélengte	
noord (tracé A1)	70,3 km
zuid (tracé FnFz)	54,6 km
totaal	124,9 km

HSL ZUID



Schiphol - Rotterdam CE
f 4,2 miljard

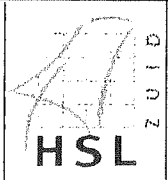
Rotterdam CS - grens B
f 3,3 miljard

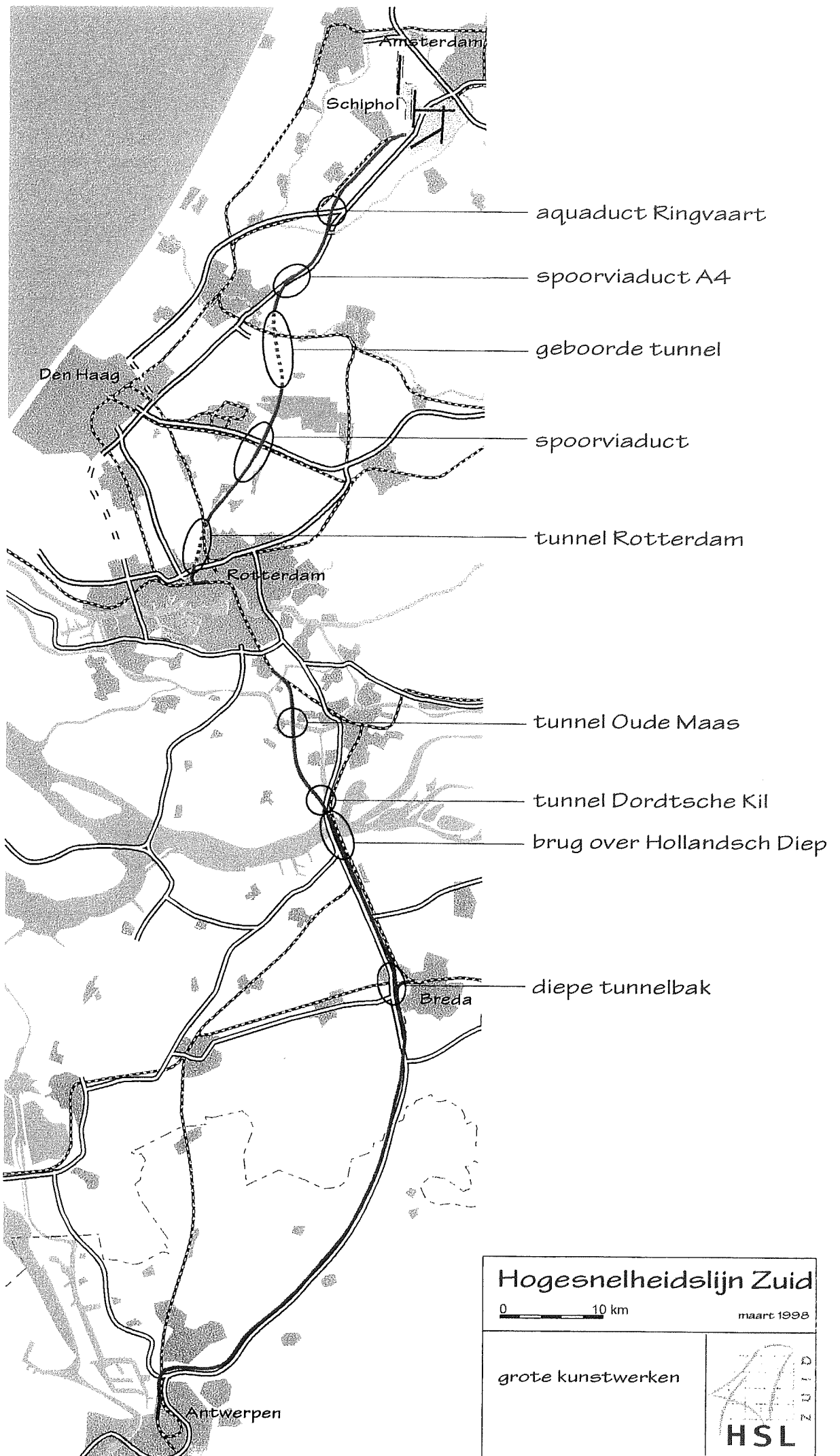
Hogesnelheidslijn Zuid

0 ————— 10 km

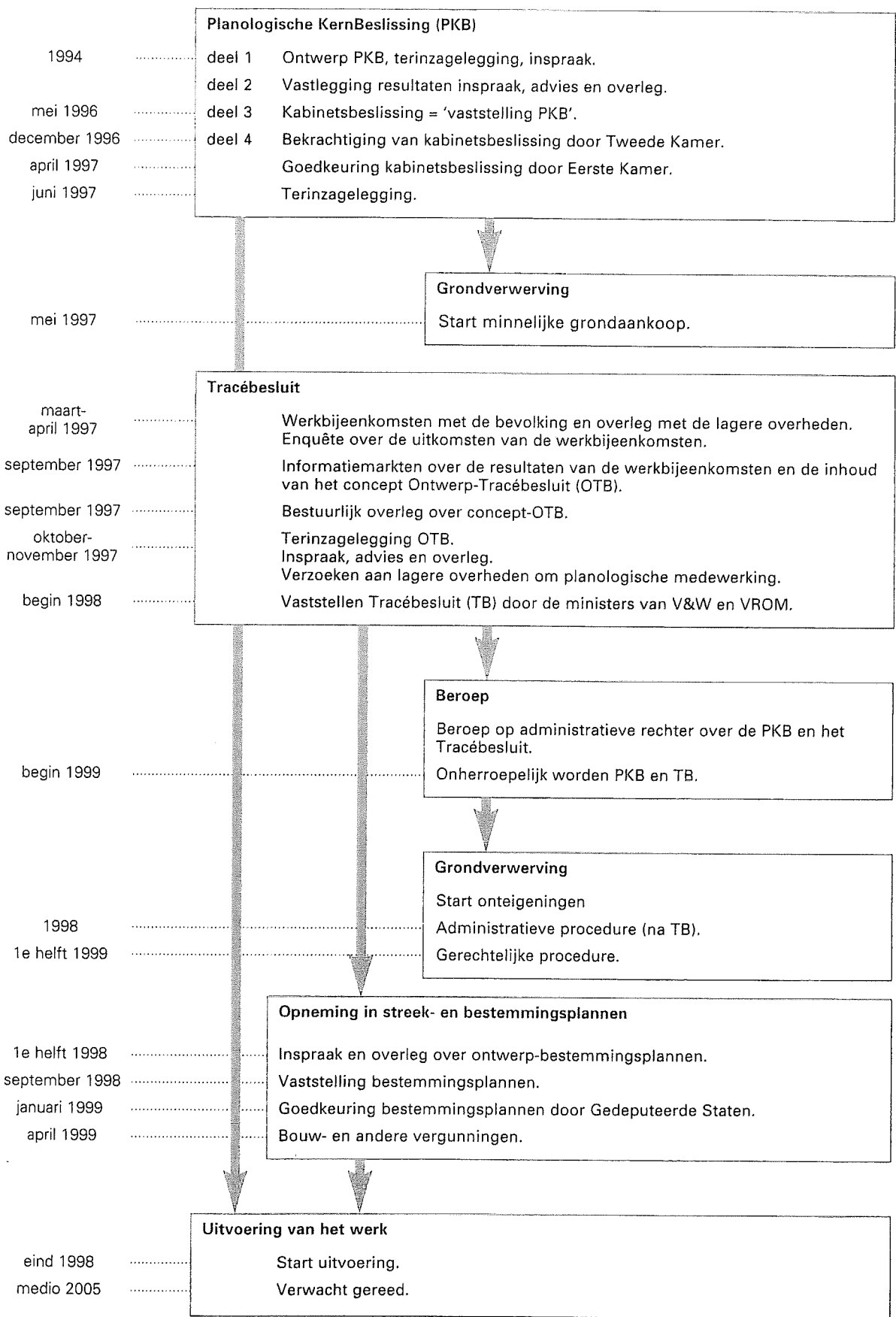
maart 1998

Kosten (prijepell 1995 PKB)	
noord (tracé A1)	f 4,2 mia
zuid (tracé FnFz)	f 3,3 mia
totaal :	f 7,5 mia





Procedures en tijdschema Hogesnelheidslijn-Zuid



Project Hogesnelheidslijn Zuid Infra

(Ingekorte versie)

Overall-planning van het Voorkeustracé, Versie 4c, 17 april 1997

Projectdirecteur

Projectmanager

Ir. W. Korf accoord:

Ir. A.G.M. Olsthoorn accoord:

