



Verkeersveiligheid Westerscheldetunnel

Onderzoek naar veiligheid tijdens calamiteiten waarbij
evacuatie plaatsvindt



Verkeersveiligheid Westerscheldetunnel

Onderzoek naar veiligheid tijdens calamiteiten waarbij
evacuatie plaatsvindt

Colofon

Uitgegeven door:

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Postbus 1031
3000 BA Rotterdam

Informatie:

Mw. Ing. J. IJsselstijn
Telefoon: 010 282 5718
Fax: 010 282 5842

In samenwerking met:

Mw. Drs. M. H. Martens
TNO Technische Menskunde

Opmaak:

Remco van Lis (AVV)

April 1999

Inhoudsopgave

Samenvatting 5

1 Inleiding 6

2 Onderzoeksaanpak 8

3 Beantwoording van de onderzoeksvragen 9

3.1 Binnen hoeveel tijd maatregelen effect moeten hebben 9

3.2 In welke gevallen is het nodig maatregelen te nemen 9

3.3 De te nemen maatregelen 10

4 Verkeerskundige interpretatie onderzoeksresultaat 11

4.1 Situatie in de 'ongevals'-tunnelbuis 11

4.2 Situatie in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis 12

5 Advies 14

5.1 Advies op basis van de randvoorwaarden 14

5.2 Verkeerskundig advies 14

5.3 Inrichting en uitrusting 15

Bijlage

Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie 17

Samenvatting

.....

Indien er een ernstige calamiteit plaats vindt in één van de buizen van de Westerscheldetunnel, die een lengte heeft van 6,6 km, bestaat er een mogelijkheid om via een dwarsverbinding te vluchten naar de andere tunnelbuis. De vluchtenden kunnen één minuut nadat de vluchtdeuren van deze dwarsverbindingen geopend zijn in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis verwacht worden, en zullen als zij door de tweede vluchtdeur komen, direct op de rijbaan stappen. Hierdoor ontstaat er een interactie tussen rijdend verkeer en vluchtende voetgangers waarbij zich gevaarlijke situaties voor kunnen doen.

Wanneer zich een calamiteit voordoet in één van de buizen zullen de verkeerslichten voor de tunnel op rood geschakeld worden. Bij een calamiteit op een afstand van minder dan 500 m voor het einde van die buis zal de 'niet-ongevals'-tunnelbuis, op het moment dat de eerste vluchtenden verwacht kunnen worden, zo ver zijn leeg gestroomd dat er geen gevaarlijke situaties zullen ontstaan. Indien een calamiteit op een grotere afstand van de tunneluitgang plaats vindt zullen additionele maatregelen genomen moeten worden.

In de rijsimulator is onderzocht of het mogelijk is om het rijdende verkeer in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis met behulp van verkeerssignalering in de vorm van matrixborden in korte tijd van de linkerstrook naar rechts te verdrijven, zodat de linker rijstrook beschikbaar komt voor de vluchtenden. Ter ondersteuning waren hierbij argumentatieborden in de vorm van een rode gevarendriehoek met daarin een naar rechts vluchtende persoon aangebracht om het rijdend verkeer inzicht in de situatie te geven.

Alle proefpersonen in de rijsimulator hadden binnen 30 seconden nadat de verkeerssignalering ingeschakeld was de linker rijstrook verlaten. Wanneer na één minuut na het inschakelen van de verkeerssignalering een voetganger op de linker rijstrook verscheen leidde die niet tot schrikreacties. Uit de beantwoording van vragen achteraf bleken de proefpersonen voorbereid te zijn geweest op het verschijnen van de vluchtenden op de rijbaan.

De resultaten van het onderzoek in de rijsimulator zijn zeer bevredigend. Het echter is nodig om bij de resultaten enige kanttekeningen te plaatsen. Aan de rijsimulatorstudie hebben een gering aantal proefpersonen deelgenomen. Er blijft dus altijd een kans bestaan dat er weggebruikers zijn die de maatregel niet opvolgen. Daarnaast is in de rijsimulatorstudie aangenomen dat de vluchtenden op de linker rijstrook blijven; in werkelijkheid is het zeer goed mogelijk dat vluchtenden zich ook op de rechter rijstrook zullen begeven. Dit laatste kan alsnog tot schrikreacties leiden die ongevallen tot gevolg kunnen hebben.

1 Inleiding

Sinds een aantal jaren is er sprake van de aanleg van de Westerschelde oeververbinding (WOV). Inmiddels is er gekozen voor de variant waarbij een tunnel door de bodem van de Westerschelde geboord wordt. Begin 1999 zal met de boorwerkzaamheden worden begonnen en de voorbereidingen zijn reeds in gang gezet. De tunnel zal een lengte krijgen van circa 6,6 kilometer en zal bestaan uit twee aparte buizen (2 x tweestrooksweg zonder vluchtstrook). De toeleidende wegen zijn grotendeels 2x éénstrooks met grasberm.

Om binnen deze variant kosten te besparen hebben de tunnelbuizen een zo klein mogelijke diameter (11,3m), waardoor het dwarsprofiel van de weg net voldoende ruimte biedt voor twee rijstroken van 3,5 meter. Er zal geen apart vluchtkanaal voor voetgangers ten behoeve van eventuele evacuaties worden aangelegd, maar de tunnelbuizen zullen om de 250 meter door middel van dwarsbuizen voor voetgangers met elkaar verbonden worden, zodat in geval van ernstige incidenten de verkeersdeelnemers van de 'ongevals' naar de 'niet-ongevals'-tunnelbuis geëvacueerd kunnen worden. Het dwarsprofiel in het gekozen ontwerp biedt geen ruimte om een voetgangerspad langs de rijbaan aan te leggen. Dit betekent dat vluchtende automobilisten uit de 'ongevals'-tunnelbuis direct op de rijbaan stappen van de 'niet-ongevals'-tunnelbuis. Dús moeten in geval van ernstige incidenten in de tunnel, in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis, één of beide rijstroken zo snel mogelijk ontruimd worden. Hierbij zijn door de opdrachtgever een aantal randvoorwaarden gegeven. De randvoorwaarden zijn als volgt:

- 1 binnen één minuut nadat de calamiteit gedetecteerd is gaan buiten de tunnel voor beide tunnelbuizen de verkeerslichten op rood
- 2 binnen één minuut nadat de calamiteit zich voordoet worden de deuren van de 'ongevals'-tunnelbuis naar de dwarsverbindingen en de deuren van de dwarsverbindingen naar de 'niet ongevuls'-tunnelbuis tegelijkertijd ontgrendeld¹⁾
- 3 binnen één minuut nadat de calamiteit zich voordoet worden er maatregelen in gang gezet die ervoor zorgen dat de interactie tussen de vluchtende weggebruikers en de rijdende weggebruikers veilig verloopt
- 4 de maatregelen moeten zodanig zijn dat de voertuigen in de 'niet-ongevals' tunnel zo veilig mogelijk kunnen verlaten en dat de tunnel goed bereikbaar is voor de hulpverlening

Het advies is gebaseerd op de volgende drie onderzoeksvragen:

- 1 vaststellen op welke manier de plaats in de tunnel waar het ongeval plaatsvindt bepalend is voor de te nemen maatregelen
- 2 vaststellen binnen hoeveel tijd de maatregelen effect moeten hebben

Noten

¹⁾ Na de onderzoeksresultaten zorgvuldig te hebben afgewogen is besloten om in het advies, dat op basis van de onderzoeksresultaten is opgesteld de tweede randvoorwaarde, betreffende het gelijktijdig ontgrendelen van de deuren aan beide zijden van de dwarsverbinding ter discussie te stellen.

3 Onderzoeken welke maatregelen ingevoerd moeten worden om aan de bovenstaande onderzoeksvraag te kunnen voldoen

De onderzoeksaanpak wordt omschreven in hoofdstuk 2. De conclusies die getrokken kunnen worden ten aanzien van de onderzoeksvragen worden beschreven in hoofdstuk 3. Een interpretatie van de onderzoeksresultaten en het advies volgen in hoofdstuk 4 en 5.

2 Onderzoeksaanpak

Onder begeleiding van AVV zijn door TNO Technische Menskunde te Soesterberg in het kader van dit onderzoek een literatuuronderzoek, een workshop en rijsimulatorstudie uitgevoerd.

In de literatuurstudie zijn de volgende onderwerpen onderzocht:

- beleving van de weggebruiker bij het rijden in (lange) tunnels
- de invloed van verkeerssignalering op het rijgedrag
- gedrag tijdens brandincidenten
- voorlichting weggebruikers (ter voorbereiding op- en tijdens incidenten)

Tijdens de workshop, waarbij een aantal experts van KLPD, Rijkswaterstaat en Verkeerscentrales aanwezig waren, is vastgesteld welk gedrag verwacht kan worden indien een rijstrook wordt afgekruid (verdrijfstrategie) danwel het verkeer wordt stopgezet (stopstrategie). In deze workshop is met name het groepsgedrag van het verkeer besproken.

Om het individuele rijgedrag van de weggebruiker vast te stellen is een proef gedaan in de rijsimulator. In de rijsimulator zijn vier verschillende maatregelen getoetst. Deze maatregelen worden ingevoerd met behulp van matrixborden boven de weg en kunnen als volgt kort omschreven worden:

- 1 Verkeer dat zich op linker rijstrook bevindt wordt met geleidelijke invoering van maatregel naar de rechter rijstrook verdreven. Hierbij wordt na het tonen van de verdrijfpijl met snelheidsreductie een rood kruis boven de linker rijstrook getoond en de snelheid nog verder gereduceerd.
- 2 Verkeer dat zich op linker rijstrook bevindt wordt met abrupte invoering van maatregel naar de rechter rijstrook verdreven. Hierbij wordt direct een rood kruis boven de linker rijstrook getoond.
- 3 Alle verkeer wordt met geleidelijk ingevoerde maatregel in de tunnel stopgezet. Nadat een snelheidsreductie is ingevoerd worden de verkeerslichten eerst op oranje en dan op rood geschakeld.
- 4 Alle verkeer wordt met abrupt ingevoerde maatregel in de tunnel stopgezet. Hierbij worden direct de verkeerslichten op oranje en dan op rood geschakeld.

Wanneer de stopstrategie wordt toegepast verlaten de voertuigen de 'niet-ongevals'-tunnelbuis niet en kunnen zij een hindernis vormen voor de hulpverlening die via de niet-ongevals'-tunnelbuis het ongeval moet bereiken. De stopstrategie is echter in het onderzoek meegenomen om de resultaten van de verdrijfstrategie hiermee te kunnen vergelijken.

De literatuurstudie, workshop en uitwerking van bovengenoemde strategieën tot een rijsimulatorstudie alsmede de resultaten ervan worden uitgebreid omschreven in het TNO-rapport, dat bijgevoegd is en feitelijk het grootste deel van deze rapportage vormt.

3 Beantwoording van de onderzoeksvragen

3.1 Binnen hoeveel tijd de maatregel effect moet hebben

Op basis van de literatuurstudie van TNO is als uitgangspunt genomen dat de eerste vluchtende, 1 minuut na het starten van de maatregelen zoals genoemd in de randvoorwaarden op pagina 4, in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis verwacht kan worden en dus zal de te nemen maatregel binnen die tijd effect moeten hebben.

3.2 In welke gevallen is het nodig maatregelen te nemen

Of er situaties zijn waarbij de plaats van het ongeval in de tunnel zodanig is dat er geen maatregelen genomen hoeven te worden, hangt samen met de hoeveelheid tijd die verstrijkt tussen het in werking stellen van de signalering en het moment waarop volgens de randvoorwaarden de eerste vluchtende in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis verwacht kan worden. Volgens het TNO-onderzoek kan 1 minuut na het in werking stellen van de signalering de eerste vluchtende in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis verwacht worden. Tegelijkertijd met het in werking stellen van de signalering worden buiten de tunnel de verkeerslichten in werking gesteld. Uitgaande van het 10 seconden lang tonen van knipperend oranje, 10 seconden vast oranje en daarna vast rood kan verwacht worden dat zo'n 30 seconden na het in werking stellen van de signalering de laatste auto de tunnel inrijdt. In een onderzoek naar door rood licht rijden bij de Vechtbrug op de A1 werden 8 seconden na het verschijnen van rood licht de slagbomen neergelaten. Daar bleek 12% van de automobilisten de stopstreep nog te passeren tijdens het neerlaten van de slagbomen.

Het laatste voertuig heeft, wanneer deze met 80 km/h door de tunnel rijdt, 630 m van het tunneltraject afgelegd, op het moment dat de eerste vluchtende de 'niet-ongevals'-tunnelbuis zou kunnen betreden. Aangenomen wordt dat in eerste instantie alleen de weggebruikers in de buurt van de calamiteit zullen vluchten. Indien de calamiteit heeft plaats gevonden tussen de tunneluitgang en de dwarsverbinding die zich op 500 m afstand van de tunneluitgang bevindt zou de dwarsverbinding direct opengesteld kunnen worden en zijn additionele maatregelen overbodig.

Uitgaande van een snelheid van 80 km/h zal binnen 12 seconden de volgende dwarsverbinding door het laatste voertuig gepasseerd worden. Bij de verwachte intensiteit van 1000 voertuigen per uur in de spitsuren zullen in de 'ongevals'-tunnelbuis nog geen vier voertuigen tot stilstand zijn gekomen in de tijd die een voertuig in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis nodig heeft om een dwarsverbinding te passeren. Zodoende kunnen alle stroomopwaarts gelegen dwarsverbindingen ook vrijgegeven worden. Hierbij is er vanuit gegaan dat het verkeer in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis een snelheid heeft van 80 km/h. Vrachtverkeer in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis zal op dit deel van het traject doorgaans geen vertraging ondervinden daar het gaat om een helling naar beneden. Bovendien gaan we er vanuit dat

het langzame (vracht)verkeer zich over de rechter rijstrook zal verplaatsen.

Indien de calamiteit zich verder van de uitgang voordoet zullen er altijd maatregelen genomen moeten worden, zoals beschreven in de volgende paragraaf.

3.3 De te nemen maatregelen

Tijdens de rijnsimulatorstudie bleek dat het stopzetten van verkeer in de tunnel bij de proefpersonen tot verwarring leidde. Zodoende lukte het niet om binnen een minuut het verkeer in de tunnel stop te zetten. Bij het verdrijven van het verkeer naar de rechterrijstrook werden zowel bij de geleidelijke invoering van de maatregel als bij de abrupte invoering goede resultaten geboekt. Het verkeer bleek binnen 30 seconde de linker rijstrook te hebben verlaten. Dit proces bleek op een zodanige manier te verlopen dat er geen andere gevaarlijke situaties dreigden te ontstaan. Advies van TNO is de maatregel geleidelijk in te voeren daar dat een situatie is die het meest overeenkomt met de manier waarop op de gewone weg afkruisingen worden gerealiseerd.

Het resultaat van de verdrijfstrategie is zeer bevredigend, echter moet worden stilgestaan bij de mogelijkheid dat er ondanks de goede onderzoeksresultaten toch altijd uitzonderingen kunnen zijn, waarbij de maatregel niet wordt opgevolgd. De Adviesdienst van Verkeer en Vervoer ziet zich dan ook genoodzaakt om vanuit verkeersveiligheidsoverwegingen te adviseren een vertraging in te voeren voor het ontsluiten van de deuren naar de 'niet-ongevals'-tunnelbuis in combinatie met het verdrijven van het verkeer van de linker rijstrook vlak voordat de deuren ontsloten worden. Dit wordt in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

4 Verkeerskundige interpretatie onderzoeksresultaat

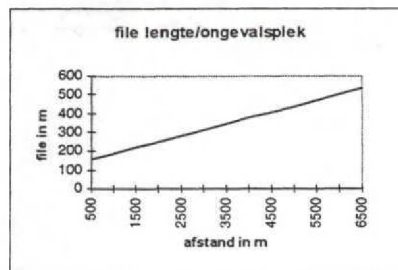
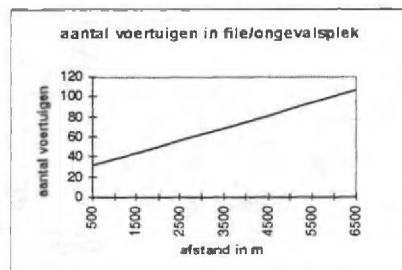
Vanuit verkeerskundig oogpunt blijft het de meest gunstige oplossing om geen vluchtenden op de rijbaan toe te laten zolang zich daar nog verkeer bevindt. Het verkeerskundige advies is daarom te kijken of er een mogelijkheid bestaat de vluchtenden in de dwarsverbindingen te laten wachten totdat de rijbaan vrij is van verkeer. Belangrijk hierbij is om te weten hoe lang de vluchtenden in zo'n geval in de dwarsverbinding moeten blijven staan en hoeveel personen er gedurende die tijd in de dwarsverbinding moeten worden ondergebracht.

4.1 Situatie in de 'ongevals'-tunnelbuis

- Als het verkeer in de tunnel stroomopwaarts van het ongeval tot stilstand komt zal er ongeveer één voertuig per 10 m lengte komen te staan. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan waarbij het aantal voertuigen per kilometer lengte is bepaald. Gezien de hectische situatie die verwacht kan worden zullen de voertuigen naar alle waarschijnlijkheid niet netjes worden opgesteld, waardoor grotere tussenruimtes ontstaan. Over een lengte van 250 m en twee rijstroken betekent dat er tussen twee dwarsverbindingen in zo'n 50 voertuigen tot stilstand komen.
- Uitgaande van een gelijkmatige verkeersstroom van 1000 voertuigen per uur zal er bij de vorming van het eerste deel van de file iedere 3,6 seconde een voertuig aansluiten. Er zijn 50 voertuigen nodig om op een tweestrooks weg voor een file van 250 m lengte te zorgen. Een file van 250 m zal in ongeveer 3 minuten ontstaan. Deze berekeningswijze geeft bij files van enkele honderden meters een goede benadering. Gezien de kleine kans dat de voertuigen met gelijkmatige tussenpozen en even hoge snelheid door de tunnel rijden is een nauwkeurige berekening niet mogelijk. Wanneer we er vanuit gaan dat een ongeval aan het einde van de tunnel plaats vindt en binnen 1 minuut de signalering en verkeerslichten buiten de tunnel worden ingeschakeld, zal de file in de tunnel bij een intensiteit van 1000 voertuigen per uur maximaal 106 voertuigen bedragen.

Figuur 1

figuur 1: De plaats in de tunnel waar de calamiteit zich voordoet gerelateerd aan het aantal voertuigen dat in file zal komen te staan en de verwachte filelengte. Uitgangspunten bij de berekening zijn een snelheid van 80 km/h, 1000 voertuigen per uur, 1 minuut na calamiteit wordt signalering in werking gesteld, max. 30 sec. daarna rijdt het laatste voertuig de tunnel in.



- 's Zomers zal er relatief veel recreatieverkeer gebruik maken van de Westerscheldetunnel. Daarom moet uitgegaan worden van een groot aantal inzittenden per voertuig, namelijk 2,6 personen. Het

aantal inzittenden per voertuig is bepaald aan de hand van een enquête die op 8 augustus 1989 gehouden is op verschillende trajecten in Zeeland. Deze trajecten zijn de Zeelandbrug en de Oosterschelde stormvloedkering. Het aantal inzittenden wijkt af ten opzichte van het aantal van 2 inzittenden per voertuig dat in het DNV-rapport als uitgangspunt is gebruikt.

- Aan de hand van het bovenstaande kan bepaald worden dat er 130 personen per dwarsverbinding geëvacueerd moeten kunnen worden. Bij een intensiteit van 1000 voertuigen per uur zou het over de gehele tunnel genomen om maximaal 276 personen gaan.

- Uit de literatuurstudie van het TNO-onderzoek is gebleken dat een aantal van 100 personen in de dwarsverbinding nog als acceptabel kan worden beschouwd. De vraag is hoe lang het duurt voordat zich 100 personen in de dwarsverbinding verzameld hebben.

4.2 Situatie in de 'niet-ongevuls'-tunnelbuis

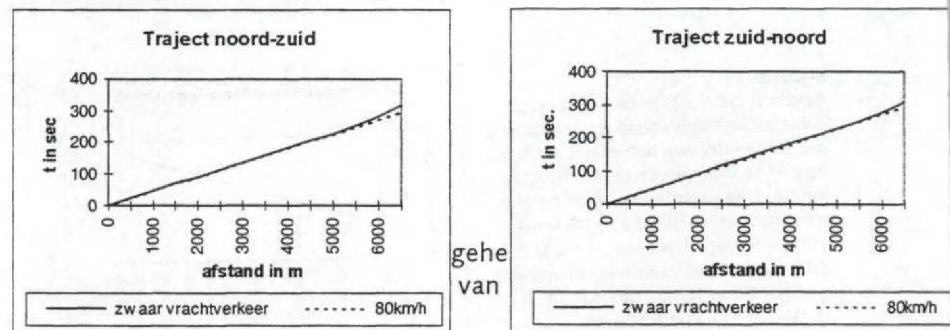
- De maximum snelheid in de Westerscheldetunnel zal worden vastgesteld op 80 km/h. Een voertuig dat met deze snelheid door de tunnel rijdt zal 293 seconde (=krap 5 minuten) nodig hebben om het hele tunneltraject af te leggen.

- Daar zich in de tunnel een aantal hellingen bevinden zal zwaar vrachtverkeer in de tunnel zo nu en dan terugzakken naar een lagere snelheid. Bij de keuze uit een aantal varianten voor de Westerscheldetunnel die enkele jaren geleden heeft plaats gevonden is met het simulatieprogramma SIMVRA bekeken hoe het snelheidsverloop voor zwaar vrachtverkeer in de tunnel eruit zou gaan zien. Bij deze simulatie was uitgegaan van een maximum snelheid van 90 km/h. Daarom zijn alle snelheden die voortkwamen uit de simulatie met 10 km/h verlaagd.

- Bovengenoemde methode van het verschuiven van de grafiek is niet helemaal reëel, maar uit de volgende grafieken kan worden afgelezen dat de terugval in snelheid op de hellingen uiteindelijk maar weinig invloed heeft op de tijd die nodig is het gehele tunneltraject af te leggen. Dit komt omdat de steile opgaande hellingen (4,5%) slechts een klein deel van het traject beslaan en de snelheid op deze hellingen geleidelijk afneemt.

figuur 2:

De tijd die nodig is om het gehele traject af te leggen in beide rijrichtingen bij een snelheid van 80 km/h en voor zwaar vrachtverkeer



- In de rij simulatorstudie was het uitgangspunt bij de verdrijfstrategie dat de vluchtenden de linker rijstrook op zouden lopen en het verkeer zich op dat moment op de rechter rijstrook zou bevinden. In deze situatie ontstonden geen gevaarlijke situaties ten gevolge van onver-

wachts en zeer hard remmen. Het staat echter niet vast dat wanneer zich werkelijk een calamiteit voordoet de vluchtenden op de linker rijstrook zullen blijven. Indien er vluchtenden de rechter rijstrook oplopen kunnen er alsnog gevaarlijke situaties ontstaan indien zich op deze rijstrook nog verkeer bevindt.

- Zoals reeds eerder vermeld is er in de rijnsimulator een proef gedaan met een beperkt aantal proefpersonen. De kans bestaat dat niet alle bestuurders de maatregel van het verdrijven naar de rechterrijstrook op zullen volgen. Als één bestuurder besluit links te blijven rijden is de kans groot dat enkele anderen zullen volgen.

5 Advies

5.1 Advies op basis van de randvoorwaarden

- Indien de calamiteit binnen 500 m voor het einde plaatsvindt kan volstaan worden met het buiten de tunnel stilleggen van verkeer en kunnen de vluchtdeuren naar de 'niet-ongevals'-tunnelbuis tegelijkertijd met het in werking stellen van de signalering geopend worden. Dit moet echter worden afgewogen tegen een efficiënt ontsluitingsregime van de vluchtdeuren. Eveneens moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat door een andere oorzaak sprake is van files stroomafwaarts van het ongeval of langzaam rijdend/stilstaand verkeer in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis of met individuele voertuigen die langzamer rijden dan 80 km/h.
- Zodra de calamiteit aanleiding geeft tot het nemen van maatregelen wordt de signalering in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis in werking gesteld. Hierbij gaat de voorkeur uit naar een gefaseerde verdrijfsstrategie, in de uitvoering zoals deze door TNO is onderzocht. Het is niet duidelijk welke effecten verwacht kunnen worden indien hiervan afgeweken wordt.
- Het verkeer moet de tunnel met een maximum snelheid van 30 km/h verlaten. Bij hogere snelheden is het ongevalsrisico in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis te groot.
- Met behulp van de grafieken met betrekking tot de filelengte zou het mogelijk zijn om voor verschillende ongevalsplekken een aparte strategie vast te stellen. Dit zal de taak van de operator echter bemoeilijken. Bovendien kunnen de werkelijke verkeersintensiteiten wel eens afwijken van het uitgangspunt van maximaal 1000 voertuigen per uur of kunnen sommige voertuigen langzamer rijden dan 80 km/h, waardoor de keuze van een strategie verkeerd uit kan vallen.
- Ook in de 'ongevals'-tunnelbuis kan de verdrijfstrategie worden toegepast. Hierdoor ontstaat op de rechter rijstrook een langere file dan wanneer deze over twee rijstroken verdeeld zou worden en die het voordeel heeft dat de weggebruikers zich op grotere afstand van de calamiteit bevinden. In een situatie waarin gebruik wordt gemaakt van de dwarsverbindingen worden de vluchtenden over meerdere dwarsverbindingen gespreid. Bovendien is het zeer aanneemelijk dat ook in de 'ongevals'-tunnelbuis vluchtenden zich op de rijbaan bevinden. Er zijn echter geen praktijkvoorbeelden waaruit blijkt dat de weggebruikers daadwerkelijk hun voertuig op de rechter rijstrook tot stilstand zullen brengen. Bij dit advies moet dan ook een kanttekening geplaatst worden dat bij het tonen van een verdrijfpijl op de linker rijstrook de suggestie wordt gewekt dat de rechter rijstrook vrije doorgang heeft terwijl het in deze situatie waarschijnlijk is dat de rechter rijstrook geblokkeerd is. Een weggebruiker die hier niet op bedacht is zal mogelijk op de staart van de file inrijden

5.2 Verkeerskundig advies

- Indien de calamiteit zich in een ander gedeelte van de tunnel voordoet is het advies vanuit verkeerskundig oogpunt bezien om de vluch-

tenden in de dwarsverbinding te laten wachten tot de buis vrij is van verkeer. Bij een snelheid van 80 km/h kan de vluchtdeur naar de 'niet-ongevals' buis na 6 minuten geopend worden. Dit betekent een wachttijd voor de eerste vluchtenden van ongeveer 5 minuten. De signalering in de 'niet-ongevals'-tunnelbuis wordt dan 1 minuut voor het ontgrendelen van de deuren naar deze tunnelbuis in werking gesteld

- Daar een interval van 6 minuten tussen het ontgrendelen van de deuren aan beide zijden van de dwarsverbinding wellicht te lang kan zijn moet worden stilgestaan bij de mogelijkheid de deuren naar de niet-ongevals-buis gefaseerd te ontgrendelen.
- Ook hier moet weer een afweging gemaakt worden ten aanzien van een efficiënt ontsluitingsregime van de vluchtdeuren en de verzwarende taak van de operator. Indien besloten wordt tot een dergelijk ontsluitingsregime zal in samenwerking met deskundigen op het gebied van vluchtgedrag tijdens brandincidenten bestudeerd moeten worden op welke manier dit het beste ingevuld kan worden.

5.3 Inrichting en uitrusting

Het advies op basis van de randvoorwaarden heeft de volgende consequenties voor de inrichting en uitrusting van de tunnel:

- Het plaatsen van matrixsignaalgevers waarop verschillende snelheden, waaronder 30 km/h, rood kruis, verdijfpijl en groene pijl kunnen worden getoond. Voor hetgeen op de matrixsignaalgevers getoond moet worden, wordt verwezen naar de beelden zoals deze door TNO tijdens de rij simulatorstudie zijn vertoond bij de geleidelijke verdrijfstrategie.
- Ten aanzien van de afstand die tussen de matrixsignaalgevers kan worden aangehouden het volgende: In overleg met de opdrachtgever zijn in de rij simulator de matrixsignaalgevers op het rechte gedeelte om de 200 m geplaatst en in de delen met hellingen en bochten om de 100 m. Het verdrijven c.q. stopzetten vond plaats in het rechte gedeelte van de tunnel. Het is niet bekend hoe de benodigde tijd voor het verdrijven van het verkeer van de linker rijstrook wordt beïnvloed wanneer de matrixsignaalgevers verder uit elkaar worden geplaatst dan 200 m.
- Het is raadzaam om het argumentatiebord voorzien van rode waarschuwingsdriehoek met daarin het pictogram van de vluchtende, zoals gebruikt in het rij simulatoronderzoek toe te voegen aan de matrixbebording. Hierbij moet de kanttekening worden geplaatst dat het gebruik van dit argumentatiebord juridisch niet is afgedekt zolang het niet in het RVV is opgenomen. Daartoe zal het bord aan het NVV moeten worden aangeboden.
- Alternatief voor het bovengenoemde argumentatiebord is het RVV-bord waarop rode waarschuwingsdriehoek met voetganger getoond wordt. De motivatie om te kiezen voor het pictogram met de vluchtende zoals omschreven in het TNO-rapport wordt door AVV ondersteund.
- Voor de overige maatregelen die in de 'ongevals'-tunnelbuis genomen moeten worden om de weggebruikers veilig te evacueren, wordt verwezen naar het hoofdstuk in het TNO-rapport dat daarop ingaat.
- Voor het stilzetten van het verkeer buiten de tunnel moeten de verkeerslichten ondersteund worden door een fysieke obstructie in de vorm van slagbomen. Voor de detaillering hiervan kan het beste

informatie worden ingewonnen bij de verkeerscentrales die enkele tunnels onder hun beheer hebben. Deze hebben hierin een ruime ervaring opgedaan door middel van hoogtedetectie bij vrachtverkeer.

Bijlage: Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie

.....

TNO-rapport
TM-98-C033

titel
**Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid
tijdens calamiteiten met evacuatie**

TNO Technische Menskunde

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

auteurs
**M.H. Martens
E.R. Koster
P. Lourens***

datum
25 mei 1998

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het tar inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

opdrachtgever : **Mevr. J.Y. IJsselstijn, RWS.AVV**
Postbus 1031
3000 BA ROTTERDAM

aantal pagina's : **60**

* Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie Groningen

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
530 N. Dearborn St. Chicago, Ill. 60610-5708
Tel: (312) 837-0671 Fax: (312) 837-0672

For a complete list of titles published by the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

For more information on the University of Chicago Press, please visit our website at <http://www.uchicago.edu>.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

The University of Chicago Press is a member of the Association of University Presses.

For more information on the University of Chicago Press, please contact your local bookseller or write to the University of Chicago Press, 530 N. Dearborn St., Chicago, Ill. 60610-5708.

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 PROBLEEMSTELLING	8
3 LITERATUURONDERZOEK	9
3.1 'Veilige' tunnelbuis	9
3.1.1 Het rijden in tunnels	11
3.1.2 Verkeerssignalering	12
3.1.3 Methoden om het verkeer te reguleren in de 'veilige' tunnelbuis	13
3.1.4 Schrikreacties	15
3.2 'Onveilige' tunnelbuis	16
3.2.1 Gedrag tijdens brandincidenten	18
3.2.2 Enkele algemene aanbevelingen 'onveilige' tunnelbuis	26
4 WORKSHOP EXPERTS	26
5 METHODE RIJSIMULATORONDERZOEK	29
5.1 Proefpersonen	29
5.2 Rijsimulator	29
5.3 Verkeersomgeving	30
5.4 Taak	30
5.5 Procedure	31
6 RESULTATEN	37
6.1 Vragenlijsten tunnel rijden in het algemeen	37
6.2 Vragenlijsten rijden in de Westerschelde-tunnel	37
6.3 Rijgedrag bij calamiteit: Methode 1: Verdrijven van linkerrijstrook	38
6.3.1 Rijstrookwisselgedrag	38
6.3.2 Snelheden	41
6.3.3 Geobserveerde remvertraging	41
6.3.4 Vragenlijsten	41
6.4 Rijgedrag bij calamiteit: Methode 2: Stilzetten van verkeer	42
6.4.1 Stopgedrag	42
6.4.2 Snelheden	44
6.4.3 Geobserveerde maximale remvertraging	44
6.4.4 Benodigde remvertraging	44
6.4.5 Vragenlijsten	45

7	DISCUSSIE	46
7.1	Linker rijstrook ontruimen	46
7.2	Stilzetten van verkeer	47
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	47
8.1	Veiligheid in de 'onveilige' tunnelbuis	47
8.2	Effectiviteit van verdrijven en stilzetten in de 'veilige' tunnelbuis.	48
8.3	De effectiviteit van geleidelijke versus abrupte introductie van de maatregel	49
8.4	De begrijpelijkheid voor de automobilisten	49
	REFERENTIES	51
BIJLAGE A	Verslag workshop Westerscheldetunnel 22-01-1998	55

Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie

M.H. Martens, E.R. Koster en P. Lourens

SAMENVATTING

De toekomstige Westerscheldetunnel zal bestaan uit twee afzonderlijke tunnelbuizen van 6.6 km lang, met elk twee rijstroken. Uit financiële overwegingen zal er geen aparte voetgangersbuis voor eventuele evacuaties worden aangelegd. Om in geval van calamiteiten een evacuatie van voetgangers naar de andere tunnelbuis mogelijk te maken worden dwarsverbindingen tussen beide buizen aangelegd. Aangezien het dwarsprofiel in beide tunnelbuizen geen ruimte laat voor een vluchtstrook of een voetgangersstrook langs de rijbaan, zullen te voet vluchtende automobilisten uit de 'onveilige' tunnelbuis direct op de rijbaan uitkomen van de 'veilige' tunnelbuis. Door de confrontatie van het rijdende verkeer met vluchtende automobilisten kan een nieuwe onveilige situatie ontstaan. Het is zaak deze onveiligheid te minimaliseren.

Hiertoe zal — in het geval van een benodigde evacuatie — het verkeer van de linker rijstrook van de 'veilige' buis zo snel mogelijk moeten worden verdreven naar de rechter rijstrook, of zal het verkeer zo snel mogelijk moeten worden stopgezet. Dit dient echter voor alle weggebruikers op een veilige manier te verlopen. Om de veiligheid bij evacuaties te analyseren is de studie in drie werkpakketten uitgevoerd, te weten een literatuuronderzoek, een workshop met experts op het gebied van verkeerssignalering en evacuatie in tunnels, en een rijnsimulatoronderzoek.

Op basis van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat het verdrijven van automobilisten naar de rechter rijstrook de voorkeur verdient boven het stilzetten van het verkeer. Het geleidelijk dan wel abrupt introduceren van deze maatregel geeft geen bijzondere verschillen. Omdat het geleidelijk introduceren, dat wil zeggen, het gebruiken van een verdrijfpijl, beter aansluit bij de ervaring die automobilisten hebben, verdient deze methode sterk de voorkeur. Het gebruik van een argumentatiebord met een vluchtend persoon verdient aanbeveling omdat automobilisten zich vrij goed zullen realiseren dat er mensen in de tunnel kunnen lopen. De resultaten van de vragenlijst laten zien dat de proefpersonen die naar de rechterrijstrook moesten uitwijken in het algemeen goed begrepen wat er van hen werd verwacht. De kans op het ontstaan van paniekreacties in de 'onveilige' tunnelbuis, waarbij vluchtende automobilisten op onredelijke wijze handelen zal vrij beperkt zijn, zeker wanneer weggebruikers adequaat geïnformeerd worden zal men naar verwachting beheerst handelen.

Westerschelde tunnel: Traffic safety during calamities with evacuation

M.H. Martens, E.R. Koster and P. Lourens

SUMMARY

The future Westerschelde tunnel will consist of two separate tubes of 6.6 km in length, with each two different traffic lanes. Due to financial constraints a separate evacuation tube for pedestrians will not be built. In order to allow evacuation of road users to the other tunnel tube, transverse connections will be built between the two tubes. Since the cross-section of a tube does not allow any room for an emergency lane or a pedestrian lane along the side of the road, car drivers escaping on foot from the unsafe tube, will enter the road in the safe tunnel tube. Conflicts between moving traffic and escaping car drivers can result in another unsafe situation. It is important to minimise this unsafety.

Thereto, — in case of a required evacuation — traffic in the safe tube will have to be moved to the right driving lane, or traffic will have to be stopped as quickly as possible. This must be achieved in a safe manner for all road users. To analyse safety at evacuations, the study was conducted in three work packages, namely a literature review, a workshop with experts on traffic signalling and evacuation in tunnels, and a driving simulator study.

Based on the studies, it can be concluded that moving all traffic to the right driving lane is preferred to stopping all traffic inside the tunnel tube. Introducing this measure in a more gradual or an abrupt manner does not result in too many differences. Since a more gradual introduction, by using a white arrow before using a red cross, is more in correspondence with current experience, this strategy is to be preferred. Using a variable message sign with an indication of a running pedestrian is recommended, since this way road users are better prepared for pedestrians inside the tunnel. The results from the questionnaires indicated that in general subjects understand what kind of behaviour is required. The chances of panic in the unsafe tunnel tube are rather small. Especially when road users are informed adequately, they are expected to act calmly.

1 INLEIDING

De voorbereidingen voor een vaste oeververbinding bij de Westerschelde, waarbij een tunnel door de bodem van de Westerschelde geboord wordt, zijn reeds gestart. Men is reeds gestart met het aanleggen van de boorputten. De Westerscheldetunnel zal bestaan uit twee afzonderlijke tunnelbuizen van 6.6 km lang, met elk twee rijstroken. Het diepste punt bevindt zich op 60 m onder het N.A.P. (Nieuw Amsterdams Peil), waarbij de tunnel ongeveer begint op 0 m. onder N.A.P.. Figuur 1 geeft een zijaanzicht van het ontwerp van de Westerschelde-tunnel met het verticale alignement. De indeling van het dwarsprofiel en de boogstralen zijn ook in de figuur opgenomen.

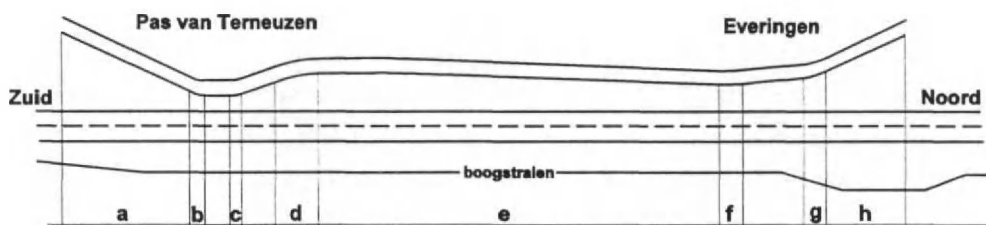


Fig. 1 De Westerschelde-tunnel

Uit financiële overwegingen zal er geen aparte voetgangersbuis voor eventuele evacuatie worden aangelegd. Om echter in geval van calamiteiten een evacuatie van voetgangers naar de andere tunnelbuis mogelijk te maken worden dwarsbuizen aangelegd. Aangezien het dwarsprofiel in beide tunnelbuizen geen ruimte laat voor een voetgangersstrook langs de rijbaan, zullen vluchtende automobilisten uit de 'onveilige' tunnelbuis direct op de rijbaan uitkomen van de 'veilige' tunnelbuis. Door de confrontatie van het rijdende verkeer met vluchtende automobilisten uit de andere buis kan een nieuwe onveilige situatie ontstaan. Het is zaak deze onveiligheid te minimaliseren. Hiertoe zal in het geval van een benodigde evacuatie het verkeer van de linkerrijstrook van de 'veilige' buis zo snel mogelijk moeten worden verdreven naar de rechterstrook, of zal het verkeer zo snel mogelijk moeten worden stopgezet, en zal het verkeer aan weerszijden bij de ingang van de tunnel moeten worden tegengehouden. Hierbij kunnen verscheidene problemen optreden, waarop de wegbeheerder zo goed mogelijk moet zijn voorbereid.

Het doel van dit project was het ontwikkelen van een effectieve strategie om voor alle weggebruikers een relatief veilige situatie te creëren, waarbij weggebruikers eenduidig geïnformeerd dienen te worden. Daarnaast is een schatting gemaakt van de tijd die verstrijkt voordat de eerste vluchtende in de 'veilige' tunnelbuis te verwachten valt.

In een literatuurstudie en een workshop is aandacht besteed aan de kennis die reeds voorhanden is over calamiteiten, tunnels en het stilzetten of verdrijven van verkeer. Op basis van deze kennis is een rijnsimulatorstudie uitgevoerd, die vier mogelijke strategieën heeft getoetst op effectiviteit in het creëren van een veilige situatie voor vluchtenden vanuit de andere tunnelbuis.

2 PROBLEEMSTELLING

Bij ernstige calamiteiten worden de deuren naar de 'veilige' tunnelbuis ontgrendeld om evacuatie mogelijk te maken. Voor de eerste vluchtenden deze tunnelbuis betreden moet de linkerrijstrook in de 'veilige' rijbuis volledig ontruimd zijn, of moet het verkeer volledig zijn stilgelegd. Behalve de vraag of er voldoende tijd beschikbaar is om alle verkeersdeelnemers van de linkerstrook af te leiden of stil te zetten rest ook de vraag welk schrik-effect bij de weggebruikers op de rechterstrook in de 'veilige' tunnelbuis wordt opgewekt wanneer er zich onverwacht vluchtenden op de linkerrijstrook bevinden. Weggebruikers dienen hierop te worden voorbereid, net als weggebruikers uit de 'onveilige' tunnel moeten worden voorbereid om zich op een beheerste wijze naar de 'veilige' tunnelbuis te verplaatsen. Het doel van dit project was het ontwikkelen van een strategie voor de te nemen maatregelen, die zich zal moeten richten op het eenduidig informeren van automobilisten in de 'onveilige' als ook in de 'veilige' tunnelbuis. Daarnaast diende een schatting te worden gemaakt van de tijd die verstrijkt voordat de eerste vluchtende in de 'veilige' tunnelbuis te verwachten valt. Hierbij diende rekening te worden gehouden met het geval dat de signalering pas één minuut na het optreden van de calamiteit in werking wordt gesteld. Het derde doel was het opstellen van maatregelen die resulteren in het creëren van een 'veilige' situatie voor de vluchtenden vanuit de andere tunnelbuis binnen het tijdsbestek dat hierop van toepassing is, waarbij het verdrijven naar de rechterstrook met een lage snelheid, of het stopzetten van al het verkeer op beide rijstroken mogelijkheden bieden.

Het onderzoek diende aan te geven na hoeveel tijd de eerste vluchtende in de tunnelbuis te verwachten is, en een rijnsimulatorstudie is uitgevoerd om vier maatregelen te toetsen op de effectiviteit in het creëren van een veilige situatie voor vluchtenden vanuit de andere tunnelbuis.

Om alle vragen volledig te kunnen beantwoorden is de studie in drie werkpakketten uitgevoerd, te weten een literatuuronderzoek, een workshop met experts op het gebied van verkeerssignalering en evacuatie in tunnels, en een rijnsimulatoronderzoek. In het project heeft TNO Technische Menskunde de aandacht gericht op het vrijmaken van de linkerrijstrook (ofwel door afkruisen, ofwel door volledig tot stilstand brengen van beide rijstroken) en het waarschuwen en informeren van het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis. Het COV heeft de aandacht in het literatuuronderzoek gericht op de evacuatie van voertuiginzittenden in de 'onveilige' tunnelbuis.

3 LITERATUURONDERZOEK

Aan de hand van beschikbare literatuur, en kennis die recentelijk is opgedaan in andere projecten (o.a. Van der Horst & Theeuwes, 1993; Kaptein & Theeuwes, 1996; Martens & Kaptein, 1997; Martens & Hogema, 1997), is gekeken naar bestaande kennis betreffende de beleving van het rijden in lange tunnels, en het optreden van calamiteiten in het algemeen en in tunnels specifiek. Hierbij zijn ook richtlijnen voor het omgaan met calamiteiten betrokken en buitenlandse literatuur, aangezien over dit onderwerp met name in Scandinavische landen veel bekend is. Daarnaast wordt literatuur aangaande verkeerssignalering, rijgedrag bij rijstrookwisselingen, en incident management betrokken.

Op basis van de beschikbare literatuur en gesprekken met experts is aandacht besteed aan de beleving van weggebruikers in lange tunnels, evacuatie-maatregelen, de rol van plaats waar de calamiteit zich in de tunnel voordoet (begin, midden of einde van de tunnel) bij het maatregelen-scenario dat wordt gevolgd, weggebruikers die de Nederlandse taal niet machtig zijn, de hoeveelheid tijd die verstrijkt voordat de eerste vluchtenden de 'veilige' buis betreden, reacties op onverwachte noodsituaties in een afgesloten ruimte, sturing van gedrag door auditief en/of visueel gepresenteerde boodschappen, en mogelijk geschikte uitvoeringsvormen voor de informatie die weggebruikers in de 'onveilige' en 'veilige' tunnel kan worden aangeboden.

De beschikbare literatuur heeft de basis gevormd voor het uitwerken van de toe te passen waarschuwingsstrategieën in de 'veilige' en de 'onveilige' tunnelbuis. Daarnaast is de literatuurstudie ook als input gebruikt voor de te testen vorm van incident management in de rijsimulatorstudie, aangezien weggebruikers daar geïnformeerd moeten worden over de mogelijkheid van vluchtenden in de tunnelbuis, en men de noodzaak van vlot handelen moet inzien.

3.1 'Veilige' tunnelbuis'

Een belangrijke vraag betreft het maken van een inschatting van de tijd die nodig is om het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis zodanig te reguleren, dat vluchtenden vanuit de 'onveilige' tunnelbuis zich met een redelijke mate van veiligheid in de 'veilige' tunnelbuis kunnen begeven. In eerste instantie zal er hierbij van uit worden gegaan dat de dwarsverbindingen direct met het in werking treden van de maatregelen open zullen worden gesteld.

In paragraaf 3.1.1 van dit rapport wordt aandacht besteed aan de subjectieve beleving van het rijden in tunnels en de effecten op het rijgedrag. In 3.1.2 worden enkele relevante aspecten van verkeerssignalering besproken. In 3.1.3 wordt nader ingegaan op de twee methoden om het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis te reguleren. Dit laatste met name in relatie tot verkeerssignalering. Tenslotte wordt in 3.1.4 kort aandacht besteed aan de schrikreacties die kunnen ontstaan bij automobilisten wanneer er vluchtenden op de rijstrook komen.

Op dit moment zijn er in Nederland geen tunnels die langer zijn dan 2 kilometer. De Westerscheldetunnel is dus zeker voor Nederlandse begrippen een lange tunnel.

Onderzoek naar de subjectieve beleving van het rijden in lange tunnels is vooral in Scandinavië uitgevoerd. In het algemeen kan worden gesteld dat automobilisten meer problemen ervaren naarmate tunnels langer zijn en dat oeververbindingen minder positief worden beoordeeld dan tunnels op het vaste land (Amundsen, 1992; Christensen et al., 1993). Angst voor lekkages speelt hierbij een grote rol.

In Noorwegen werd door Amundsen (1992) een enquête gehouden over het rijden in tunnels. Hieruit blijkt dat 4% van de ondervraagden het rijden in tunnels als negatief ervaart en dat 3% zelfs de voorkeur geeft aan een alternatieve route zonder tunnels. Minder dan 1% zal nooit een tunnel gebruiken. De tunnellenge speelt voor minder dan de helft van de ondervraagden geen rol (42%) en 2% zegt geen tunnel te willen die langer is dan 2 kilometer. Uit een later onderzoek onder tunnelgebruikers (Amundsen, 1995), dat werd uitgevoerd naar aanleiding van de opening van een nieuwe oeververbinding, kwam een percentage van 2% - 8% naar voren dat het rijden in een tunnel een negatieve ervaring vindt. Voor 60% - 80% is het rijden in een tunnel niet meer dan een normale rij-ervaring. De veiligheid van een tunnel onder het water werd door de ondervraagden beoordeeld als gelijkwaardig aan de veiligheid van een veerboot verbinding.

De waardering van tunnels lijkt tevens in verband te staan met het ontwerp van tunnels (Amundsen, 1992); lange rechte stukken, kleine hellingshoeken aan het begin en een steile helling naar de uitgang toe worden positief gewaardeerd. Een mogelijke verklaring is dat een dergelijk profiel een goede indruk geeft van waar men zich bevindt in de tunnel.

De Westerscheldetunnel wijkt op een aantal punten af van het hierboven geschetste ideaal beeld. Het traject telt een aantal bochten die met name aan de zuidelijke uitgang van de tunnel dicht op elkaar liggen. Daarnaast daalt het wegoppervlak sterk aan de noordelijke ingang van de tunnel, gevolgd door een recht stuk. Na dit rechte stuk is er een steile helling die wordt gevolgd door een relatief lang vlak gedeelte. Wanneer men dus van zuid naar noord rijdt volgt aan het eind van de tunnel uiteindelijk weer een steile helling. De helling net voorbij het midden in de tunnel kan voor het verkeer dat in de zuid-noord richting door de tunnel rijdt ten onrechte de verwachting wekken dat men reeds de tunnel uitrijdt. De laatste helling in dit traject (deze ligt werkelijk dicht bij de uitgang) wordt gecombineerd met een bocht.

In het algemeen kan worden gesteld, dat weggebruikers er bij zijn gebaat wanneer zij de weg die voor hen ligt goed kunnen overzien. Dit stelt hen in staat om te anticiperen op hetgeen komen gaat en kan bijdragen tot een reductie van onzekerheid. In dit verband zijn twee concepten van belang: rijzicht en stopzicht (Godthelp & Tenkink, 1990). Met rijzicht wordt bedoeld; de zichtlengte die nodig is om de weg en de daarop aanwezige informatie te kunnen overzien, zodanig dat de informatie die nodig is om rustig en veilig te reageren op wijzigingen in het weg-en verkeersbeeld tijdig en op comfortabele wijze kan worden verwerkt. Het

criterium is de weglengte die in 8 à 10 seconden kan worden afgelegd en is dus afhankelijk van de snelheid. Bij een snelheid van 80 kilometer per uur (22 m/sec) zoals die wordt voorzien in de Westerscheldetunnel, dient rekening gehouden te worden met een rijzicht tussen de 178m en 222m.

Stopzicht is de zichtlengte die nodig is om, indien nodig, tijdig tot stilstand te komen. Weggebruikers blijken een maximale remvertraging van 2,5 m/s² te accepteren (Cleveland e.a., 1985) voor een redelijk comfortabele stop. Bij een perceptie-reactietijd van 2 s (Godthelp & Tenkink, 1990) en een snelheid van 80 km/u komt dat neer op ruim 150 meter. Kaptein en Theeuwes (1996) menen dat een remvertraging van 3 m/s² ook nog acceptabel wordt gevonden, hetgeen leidt tot een afstand van 138 meter.

Voldoende stopzicht is voornamelijk van belang in noodgevallen. Voor het interpreteren van de signalering in de 'veilige' tunnelbuis van de Westerscheldetunnel en het rustig en gecontroleerd uitvoeren van de vereiste actie (tot stilstand komen of invoegen op de rechter rijstrook), is voldoende rijzicht van belang. Dit houdt in dat deze informatie op een minimale afstand van 178m - 222m zichtbaar moet zijn. Bogen en hellingen kunnen het rijzicht belemmeren en daarmee de tijd die men heeft om te anticiperen verkleinen.

Slechts een klein percentage mensen ervaart het rijden in tunnels in het algemeen en lange tunnels in het bijzonder als onprettig. Hierbij moet worden bedacht dat deze constatering gebaseerd is op ervaringen in Scandinavië waar de weggebruikers meer geconfronteerd worden met het rijden in (langere) tunnels. Daarnaast heeft de Westerscheldetunnel een profiel dat op sommige locaties in het traject mogelijkwerwijs het anticiperend vermogen van automobilisten vermindert. Het verdient aanbeveling om, in relatie tot de te plaatsen signalering, het rijzicht voldoende groot te houden. Tenslotte kan door de opeenvolging van op- en neergaande hellingen bij de automobilisten een foutief beeld ontstaan over de nabijheid van de uitgang wanneer men in zuid-noord richting door de tunnel rijdt.

3.1.1 Het rijden in tunnels

Martens en Kaptein (1997) noemen verschillende effecten van rijden in tunnels op het rijgedrag van automobilisten zoals snelheidsvermindering, verandering in de laterale positie en een verhoogde stuuractiviteit. Zo toonden Blaauw en Leebeek (1974) aan dat weggebruikers in een tunnel met tweebaans tunnelbuizen in het begin van de tunnel meer aan de linker kant reden. Echter, na enige gewenning werd de normale laterale positie hernomen. In een vergelijking van de laterale positie van weggebruikers in twee tunnels die alleen verschilden in nabijheid van de tunnelwand, vonden Blaauw en Van der Horst (1982) een systematische verschuiving van de laterale positie naar links bij de engste tunnel, maar niet bij de bredere tunnel. Ook in dit onderzoek kwam naar voren dat weggebruikers even verder op in de tunnel de normale laterale positie hervonden. Het verschuiven van de laterale positie kan tot veiligheidsproblemen leiden wanneer het verkeer op de rechter rijstrook naar de linker rijstrook verschuift. In een simulator onderzoek vonden Theeuwes, Van der Horst, Hoekstra

en Kaptein (1995) dat verminderde tunnelwandafstand leidde tot meer stuurbewegingen. Een toename van stuurbewegingen kan worden gezien als een indicatie van verhoogde inspanning. Het simulator onderzoek liet daarnaast zien dat er sprake was van een verlaagde snelheid.

De effecten op het rijgedrag die hierboven worden beschreven hoeven niet direct tot onveilige situaties te leiden (Martens & Kaptein, 1997; Verwey, Alferdinck & Theeuwes, 1996). Automobilisten reageren echter verschillend op het rijden in tunnels. Als iemand zijn of haar rijgedrag verandert, kan de homogeniteit van de verkeersstroom doorbroken worden. Dit betekent dat de overige automobilisten meer aandacht (zouden) moeten besteden aan de rijtaak. Als dit niet of in onvoldoende mate wordt gedaan, kan dit leiden tot een reductie van de verkeersveiligheid. Martens en Kaptein (1997) wijzen er dan ook op dat, ondanks het feit dat het aantal automobilisten dat zich ongemakkelijk voelt bij het rijden in een tunnel klein is, het effect dat deze groep kan hebben op de verkeersstroom niet onderschat moet worden.

3.1.2 Verkeerssignalering

De Westerscheldetunnel zal worden voorzien van een systeem dat incidenten, zoals het stilvallen van een auto, automatisch detecteert. Bovendien zal er een verkeerssignaleringssysteem worden aangebracht zoals dat momenteel op verschillende 'open' autosnelwegen in Nederland in werking is.

Uit een enquête onder weggebruikers (Stoelhorst & Bokma, 1994) blijkt dat een grote meerderheid van de weggebruikers op het systeem reageert door zich aan de snelheidslimiet te houden (71%), door opletterender te gaan rijden (28%) en door langzamer te gaan rijden (3%). Werk-in-uitvoeringssignalering (verdrijfpijlen, rode kruizen en snelheidsbeperkingen) wordt door bijna alle ondervraagden (98%) begrijpelijk gevonden. De ondervraagden reageren naar eigen zeggen op de signalering door af te remmen (86%), van rijstrook te veranderen (38%), zich aan de snelheidslimiet te houden (30%) en voorzichtiger te gaan rijden (32%).

Uit een eerdere enquête, die onderdeel uitmaakte van een evaluatie van verkeerssignalering (De Kroes, Donk & De Klein, 1983), bleek dat 86% van de ondervraagden volgens eigen zeggen pijl- en kruisaanwijzingen direct opvolgt. Van de ondervraagden zegt 14% een dergelijke aanwijzing¹ pas bij herhaling op te volgen. In een rapport van Rijkswaterstaat (1985) wordt opgemerkt dat een verdrijfpijl op een signaleringsmatrix door weggebruikers 'prompt' wordt opgevolgd. Dit kwam ook naar voren in het onderzoek van De Kroes et al. (1983) waarin het rijstrookwisselgedrag werd bestudeerd voor en na de intrede van automatische signalering. Geconcludeerd werd dat er met signalering aanmerkelijk eerder wordt ingevoegd. De meeste invoegmanoeuvres blijken plaats te vinden in de directe omgeving van de verdrijfpijl. Het feit dat dit onderzoek kort na het invoeren van de signalering is uitgevoerd heeft er wellicht voor gezorgd dat men sneller reageerde dan nu men reeds met het systeem

¹ Ten tijde van dit onderzoek (1983) waren de snelheidsaanduidingen op matrixsignalering nog adviessnelheden.

bekend is. Wanneer de verkeersintensiteit echter hoog is wordt er iets trager gereageerd dan bij een lage intensiteit. Samenvattend kan worden gesteld dat de verkeerssignalering een grote bekendheid geniet onder automobilisten, dat de begrijpelijkheid er van goed is en dat de maatregelen die worden afgekondigd goed worden opgevolgd door de weggebruikers. In de huidige praktijk blijkt de maximum snelheid getoond op verkeerssignalering nog steeds te worden geïnterpreteerd als adviessnelheid.

De gegevens uit de onderzoeken die hierboven werden besproken, wijzen er op dat de acceptatie van verkeerssignalering zoals die op dit moment gebruikt wordt aanzienlijk is. Bovendien lijkt het verkeer adequaat te reageren op de maatregelen zoals die worden afgekondigd bij werk-in-uitvoering. Zoals reeds is opgemerkt wijkt de situatie in de 'veilige' tunnelbuis van de Westerscheldetunnel af van de situaties waar de automobilist op dit moment mee geconfronteerd kan worden. Het belangrijkste is dat er in de Westerscheldetunnel geen sprake zal zijn van een fysieke belemmering van de doorgang, zoals dat het geval is bij wegwerkzaamheden. De situatie in de 'veilige' tunnelbuis vraagt daarom wellicht om het aanbieden van extra informatie.

Uit een onderzoek van Miller, Smith, Newman en Demetsky (1995) naar informatie op zogenaamde Variable Message Signs (VMS) kwam onder andere naar voren dat VMS gebruikt dienen te worden voor veranderde verkeersomstandigheden. Boodschappen zoals "Rij veilig" worden genegeerd. Weggebruikers dienen geïnformeerd te worden over het gedrag dat van hen wordt verwacht, kortom de informatie dient specifiek te zijn. Als er een rijstrook wordt afgezet dient bijvoorbeeld aangegeven te worden welke rijstrook dit is en op welke afstand dit geschiedt. Algemene boodschappen, zoals "Voorzichtig", zijn niet effectief. Uit het onderzoek blijkt ook dat geloofwaardigheid essentieel is. De effectiviteit van VMS wordt ernstig ondermijnd wanneer overduidelijk foutieve informatie wordt weergegeven (bijvoorbeeld het aankondigen van wegwerkzaamheden terwijl die niet plaatsvinden).

Volgens Rutley, Hodge en Lines (1983) wordt een maatregel beter opgevolgd als er een reden wordt aangegeven. Hoewel het in dit geval om een snelheidsbeperking ging, lijkt dit zeker ook van toepassing voor de situatie in de 'veilige' tunnelbuis van de Westerschelde oeververbinding. Het verkeer wordt immers stilgelegd, of van de linker rijbaan afgeleid, zonder dat er voor deze automobilisten een direct zichtbare aanleiding is. Extra informatie, bijvoorbeeld een bord dat aangeeft dat er vluchtenden in de tunnel verwacht kunnen worden, informeert de automobilist over de reden van de maatregelen. Daarnaast draagt een dergelijk bord er wellicht toe bij dat de automobilisten doordrongen raken van de noodzaak zich aan de aangegeven maatregelen te houden.

3.1.3 Methoden om het verkeer te reguleren in de 'veilige' tunnelbuis

Er worden twee methoden overwogen om, in het geval van een calamiteit, het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis te reguleren. Een eerste methode is het 'afkruisen' van de linker rijstrook, in combinatie met het afkondigen van snelheidsbeperkingen op de rechter rijstrook. Daarnaast

kan worden overwogen om het verkeer in de tunnel stil te leggen. Het aanbieden van extra informatie, bijvoorbeeld om de automobilisten te waarschuwen, behoort in beide gevallen tot de mogelijkheden.

Bij elke variant rijst de vraag hoeveel tijd het in beslag zal nemen, voordat het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis zich heeft aangepast, zodat personen uit de 'onveilige' tunnelbuis zich met een gereede mate van veiligheid op de linker rijstrook kunnen begeven. De literatuur op dit gebied is echter schaars en weinig concreet.

3.1.3.1 Het stilleggen van het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis

Over het stilleggen van verkeer in een tunnel zijn geen objectieve gegevens naar voren gekomen uit de literatuurstudie. Het vermoeden bestaat echter dat dit zeer veel moeite zal kosten. In een onderzoek van Amundsen (1992), bijvoorbeeld werd gevraagd aan automobilisten wat zij zouden doen als zij in de tunnel een rood waarschuwingslicht zouden tegenkomen. Van de ondervraagden zei 80% dat zij zouden proberen terug te rijden. In een onderzoek naar het doorrijden bij rood licht bij de Vechtbrug op de A1 wordt gewezen op het belang van de roodlichtdiscipline van de eerste (paar) automobilisten (van der Horst, 1989). Nadat de verkeerslichten 8 seconden rood licht hebben vertoond worden de slagbomen neergelaten. Uit praktijkobservaties bleek dat 12% van de automobilisten de stopstreep nog passeert op het moment dat de bomen werden neergelaten, ofwel nadat de verkeerslichten al 8 seconden op rood stonden. Er is sprake van een meesleep-effect: wanneer er één automobilist doorrijdt zullen er waarschijnlijk nog meer volgen. Deze gegevens zijn niet zonder meer generaliseerbaar naar het stilleggen van het verkeer in een tunnel, maar geven reeds een indicatie dat het lastig is om verkeer helemaal tot stilstand te brengen.

Gegevens over de tijd die het zal vergen om het verkeer stil te leggen zonder fysieke barrières konden niet worden gevonden. De indruk bestaat echter, dat het stilleggen van het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis niet goed mogelijk is als uitsluitend gebruik gemaakt kan worden van verkeerssignalering. Het is goed voor te stellen dat bij sommige automobilisten de neiging bestaat toch door te rijden om toch vooral de tunnel uit te komen. Het meesleep-effect zal er wellicht toe bijdragen dat de verkeersstroom pas langzaam of helemaal niet tot stilstand komt zolang er geen fysieke obstructie zichtbaar is.

3.1.3.2 Het afkruisen van de linker rijstrook in de 'veilige' tunnelbuis

Een andere optie is het verdrijven van het verkeer op de linker rijstrook naar de rechter rijstrook in combinatie met snelheidsbeperkingen op de rechter rijstrook. Objectieve data over het rijgedrag bij afzetten van rijstroken zijn gevonden in een aantal studies. Richards (1983) concludeert dat 20% - 50% van de weggebruikers wachten met het reageren op een vooraanmelding tot dat de werkelijke afsluiting wordt herkend. Volgens hetzelfde onderzoek reageert 50% - 70% van de automobilisten niet op een waarschuwing, als deze niet wordt opgevolgd door een daadwerkelijke afzetting (in dit geval een bord of een actiewagen) om weg werk-

zaamheden aan te duiden. Ook werd er een effect gevonden van de wijze waarop werd gewaarschuwd: in vergelijking met een statische pijl, reden er bij een knipperende pijl 40% minder voertuigen nog op 300 meter voor de afzetting op de rijstrook. Nemeth en Rathi (1983) vond dat veel bestuurders zich eerder richten naar het gedrag van medeweggebruikers dan naar vooraanduidingen. In een onderzoek naar de effectiviteit van verschillende typen actiewagens vond Bakker (1989) dat 19% van de automobilisten zich nog op een afstand van 420 meter van de actiewagen op de afgesloten rijstrook bevond. 's Nachts wordt zo'n 15% langer doorgereden dan overdag. Volgens McGee et al. (1978) tenslotte, duurt het 6 - 9 s om een afzetting waar te nemen en te beslissen en nog eens 3.5 - 4.5 s om van rijstrook te wisselen. In het ongunstigste geval is de benodigde tijd 13.5 s.

Een belangrijke beperking van de onderzoeken die hierboven worden beschreven is, dat geen van allen betrekking heeft op de automatische verkeerssignaleringsystemen zoals die zijn voorzien in de Westerscheldetunnel (en zoals die momenteel op sommige open autosnelwegen worden gebruikt). De tijd van 13.5s die McGee et al. (1978) geven is bijvoorbeeld afhankelijk van het type afzetting en het is zeer de vraag of deze tijd ook geldt voor signaalborden boven de rijstrook. Bovendien was in de situaties die hierboven worden beschreven sprake van werk in uitvoering, waarbij de rijstrook werd geblokkeerd met borden of actiewagens. Voor de reacties van automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis van de Westerschelde oververbinding moet immers worden uitgegaan van een situatie waarbij geen sprake is van een dergelijke obstructie van de rijbaan. Er zijn geen gegevens gevonden die betrekking hebben op het afkruisen van rijbanen, zonder dat er sprake is van een fysieke obstructie.

Door het afkruisen van de linker rijstrook stelt men de automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis in staat om naar buiten te rijden en raakt de tunnel wellicht eerder vrij van verkeer. Bovendien komt deze situatie meer overeen met situaties waar weggebruikers aan gewend zijn, zoals het afzetten van een rijstrook voor werk in uitvoering. Op basis van de beschikbare gegevens is het echter niet goed mogelijk een inschatting te geven van de tijd die verstrijkt voordat de linker rijstrook vrij van verkeer is.

3.1.4 Schrikreacties

Tot slot werd gevraagd om een inschatting te maken van de schrikreacties die kunnen ontstaan als automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis met vluchtenden op de rijbaan worden geconfronteerd. In de literatuur konden geen aanknopingspunten gevonden worden die een gedegen inschatting zouden opleveren. Wel blijkt uit het onderzoek van Bakker (1989) dat automobilisten die een afzetting zo dicht waren genaderd dat zij in contact kwamen met de Andreasstrips, door (plotseling) remmen en uitwijken soms in conflict dreigden te komen met het verkeer in de rechter rijstrook. Het lijkt aannemelijk dat de confrontatie met mensen nog heftiger reacties teweeg kan brengen. Schrikreacties hangen samen met de voorinformatie waarover de weggebruikers beschikken. Wellicht kunnen schrikreacties worden beperkt door de weggebruikers van te voren te waarschuwen voor vluchtenden. De rijsimulatorstudie geeft beter inzicht in dit vraagstuk geven.

3.2 'Onveilige' tunnelbuis

Het succes van het Westerscheldetunnel-project valt of staat met het gevoel van vertrouwen en comfort dat de gebruikers van de tunnel hebben, wanneer ze door de tunnel rijden of overwegen om dit te doen. Het gevoel van comfort in de tunnel wordt in belangrijke mate bepaald door de attractiviteit van het ontwerp (Grønhaug, 1997). Behalve de afmetingen van de ruimte in de tunnel gaat het hierbij om zaken als de verlichting, de kleuren, de signalering, de informatieverschaffing, de variatie in visuele patronen en de zichtbaarheid van hulpmateriaal en vluchtwegen. Het gevoel van vertrouwen wordt vooral bepaald door de subjectieve zekerheid die de gebruikers hebben over het goed functioneren van het hulp- en reddingsmateriaal, hulpverleningsdiensten en de procedure voor evacuatie in geval van calamiteiten.

Voor het comfortabel gebruik van de tunnel onder normale omstandigheden en het effectief kunnen reageren op noodsituaties dienen verschillende systemen te allen tijde operationeel te zijn. In de literatuur worden dergelijke systemen door diverse tunneldeskundigen gespecificeerd (o.a. Alepin, 1982; Stikma, 1993; Van Geest, 1993; Inokuma, 1996; Kölkebeck, 1996).

Onderscheiden worden een centraal gelegen bedienings- en bewakingscentrum, verkeersmonitoring, communicatiesystemen voor informatievoorziening en alarmmeldingen (waaronder verkeerssignalering), onderhoudsprocedures voor alle systemen, verlichting, ventilatie om rook en gassen in een gewenste richting weg te ventileren, energievoorzieningen (inclusief noodstroomvoorziening), geleidebarrier om te voorkomen dat tegen de wand botsende voertuigen op de rijstrook terugkaatsen, pompen om water en eventueel andere vloeistoffen af te voeren (drainagesysteem), geluidsabsorberende en hittewerende bekleding van de tunnelwanden, en reddings- en hulpmiddelen voor noodsituaties, waaronder brandblussers en evacuatieroutes.

Een gevoel van opgesloten te zitten zal optreden, wanneer de hoogte van het plafond in de tunnel gedurende de rit vermindert. Aangezien lichte kleuren een gevoel van ruimtelijkheid geven, kunnen we ervan uitgaan dat een plafond met een lichte kleur een gevoel van welzijn en vertrouwen bevordert. Hoe sterker de verlichting in de tunnel, hoe hoger het niveau van visuele controle zal zijn, dat de automobilisten ervaren. Visuele controle is van groot belang om te voorkomen dat tunnelgebruikers gedragsstoornissen gaan vertonen, zoals stressreacties, verlies van oriëntatie en reactiesnelheid (Junca-Ubierna, 1997). Ook de zichtbare aanwezigheid van veiligheidsinstallaties en -materieel verhoogt het niveau van welbevinden en gevoel van controle. Zo'n 60 tot 70% van de automobilisten luistert naar de radio tijdens de rit door de tunnel, wanneer die is voorzien van speciale (inductie)antennes. Hierdoor is het mogelijk direct informatie uit te zenden over speciale gebeurtenissen in de tunnel en om automobilisten op hun gemak te stellen of specifieke instructies te geven (radio re-broadcasting systeem).

Het rampenscenario bij uitstek is een brand in de tunnel. En dat is niet verwonderlijk, als de effecten van een brand in oenschouw worden genomen. De vrijkomende rook kan niet

ongehinderd weg, maar zal zich met een snelheid van ongeveer 11 meter per seconde in de richting van de tunneluitgang bewegen (Brauner & Heck, 1994). Ook de temperatuur van het vuur loopt sterk op en kan al na een paar minuten de 1000 graden Celsius bereiken. Onder dergelijke omstandigheden is er voor mensen in de tunnel maar één zekere vluchtroute en dat is opzij door de nooduitgangen in de tunnelwand. Een effectief programma om mensen levend uit een brand in een tunnel te halen hangt af van een goed gecoördineerde interactie tussen verscheidene subsystemen (Danziger, 1996). Tot deze subsystemen behoren de systemen voor detectie, alarmering, verificatie, incident lokalisering, communicaties, actieplan, evacuatie-procedure, rookcontrole (ventilatie), brandbestrijding en energievoorziening.

Er zijn in de afgelopen decennia zeker vijf grote tunnelbranden geweest, waarvan een hoop is geleerd (Danziger, 1996). De tunnels overleven een brand wel, maar mensen lang niet altijd. Zo probeerden verscheidene mensen bij de brand in de Caldecott tunnel in Californië in 1982 te voet terug te rennen naar de tunnelingang maar werden de meeste door het vuur gegrepen. Geen enkele automobilist probeerde door de zijpassages te vluchten. De deuren van de zijpassages waren dan ook niet voorzien van handgrepen, tekens of speciale verlichting. Door het hoge niveau van de voorzieningen en controle in hedendaagse tunnels zijn gevallen van slachtoffers door brand in een tunnel nog maar uiterst zeldzaam. De ervaring is dat de meeste branden klein van omvang zijn en toegeschreven kunnen worden aan elektrische en mechanische fouten in voertuigen. De brand kan meestal snel en gemakkelijk worden geblust door omstanders. Branden ten gevolge van aanrijdingen blijken volgens Danziger in tunnels veel minder vaak voor te komen dan buiten tunnels. De ervaring heeft geleerd — zo stelt Danziger — dat giftige gassen en deeltjes in onverdunde rook meer levensbedreigend zijn dan de hitte van de brand. Mensen hebben dan ook een grotere kans om heelhuids te ontsnappen, wanneer het ventilatiesysteem erin slaagt het lagere gedeelte van de ruimte vrij van rook te houden en genoeg lucht en zichtbaarheid te verschaffen om mensen in de gelegenheid te stellen de tunnel te evacueren. Deze ervaringen zijn echter niet exact van toepassing op de Nederlandse situaties. Van het grootste belang is volgens Danziger (1996) een goed rampenplan dat met één druk op de knop in werking treedt, waarbij geregelde trainingsprogramma's verplicht zijn voor alle individuen die bij een reddingsoperatie betrokken zijn.

Een ongeval in een tunnel kan verschillende vormen aannemen. Een relatief onschuldig ongeval is bijvoorbeeld een lichte aanrijding tijdens daluren, waardoor het weinige verkeer in de tunnel relatief eenvoudig tot stilstand komt. Een ernstig ongeval gaat uit van een aanrijding met brand (en rook) tijdens het spitsuur, waarbij meerdere aanrijdingen (eventueel met brand) voor zullen komen door abrupt remmende voertuigen. Een 'worst-case' scenario gaat er vanuit dat er daarnaast ook in de tweede tunnelbuis ongevallen zullen voorkomen. Dit zou kunnen gebeuren als de evacuerende mensen uit de eerste tunnelbuis de rijbaan van de tweede tunnelbuis oplopen terwijl het verkeer in deze tunnelbuis de linker rijbaan nog niet voldoende heeft vrijgemaakt.

In de onderhavige literatuurstudie is geen informatie gevonden over onderzoek dat zich direct richt op hoe mensen zich gedragen tijdens verschillende soorten van ongevallen in tunnels.

Om deze reden zal het uitgebreidere thema 'menselijk gedrag tijdens brandincidenten' bestudeerd worden. Het gaat hierbij om reacties van mensen bij branden in o.a. gebouwen, in metro-stations en bij branden op schepen. Dergelijke brandincidenten hebben vaak een overeenkomst met ongevallen in een tunnel omdat: (1) er ook in de tunnel sprake kan zijn van brand en rook, (2) er een levensbedreigende situatie kan ontstaan, en (3) mensen geëvacueerd zullen moeten worden.

3.2.1 Gedrag tijdens brandincidenten

Bij onderzoek naar menselijk gedrag bij brand speelt de Britse onderzoeker Canter (1980), die de redacteur is van het boek 'Fires and Human Behaviour' een grote rol. Ook in latere jaren heeft Canter zich samen met andere onderzoekers bezig gehouden met onderzoek naar het menselijk gedrag tijdens noodsituaties. Uit de vele brandincidenten die onderzocht zijn komt duidelijk naar voren dat slechts heel weinig mensen in paniek raken. Paniek valt het beste te omschrijven als een acute angstreactie, gekenmerkt door het verlies aan zelfbeheersing, hetgeen gevolgd wordt door niet-sociaal en niet-rationeel vluchtgedrag (SBR, 1984). Let wel dat niet-sociaal en niet-rationeel beslist niet hetzelfde is als asociaal en irrationeel. Vaak wordt in de media gesproken van mensen die elkaar in blinde paniek vertrappen om naar buiten te komen, echter meestal proberen de mensen zonder na te denken zelf te ontsnappen aan de verstikking of verbrandingsdood. Indien de mensen dan niet op de hoogte zijn van de (alternatieve) vluchtwegen kan het gebeuren dat iedereen probeert om via één uitgang te ontsnappen, met desastreuze gevolgen. Echte paniek, waarbij mensen volslagen irrationeel handelen en zichzelf (en anderen) juist in gevaar kunnen brengen, komt zeer weinig voor (Sime, 1980; 1995). Paniek kan ontstaan, wanneer mensen een onmiddellijk dreigend lichamelijk gevaar ervaren en het gevoel krijgen mogelijk opgesloten te geraken of het onvermogen voelen zich uit de gevarenszone te verwijderen (Van Borssum Waalkes, 1981). Deze gevoelens worden voorkomen door eenvoudig te lokaliseren en duidelijk herkenbare vluchtwegen. Canter et al. (1992) komen wat het verschijnsel paniek betreft dan ook tot de conclusie dat systematisch onderzoek naar echte groepen of menigten mensen in noodsituaties geen empirische ondersteuning heeft gevonden voor het bestaan van dit type gedrag. Ook Boer (1993) rapporteerde dat er bij diverse scheepsrampen op enkele geïsoleerde gevallen na geen sprake was van massale paniekreacties.

Tabel I geeft een overzicht van de eerste reacties van mensen op een brand (Wood, 1980).

Tabel I Overzicht van de eerste reactie van mensen op een brandincident op basis van 952 brandincidenten waarin totaal meer dan 2000 mensen waren betrokken.

Eerste gedrag	Percentage van de geïnterviewden die dit gedrag als eerste vertoonden
1: Poging tot blussen	15
2: De brandweer alarmeren	13
3: De brandhaard opsporen	12
4: Anderen waarschuwen	11
5: Iets doen om het gevaar te verminderen	10
6: Het gebouw verlaten	9.5
7: Anderen het gebouw uit helpen (evacuatie)	7

Bijna 80% van de betrokkenen ondernam een passende actie. Wood (1980) beoordeelde slechts 5% van de gerapporteerde gedragingen als risico verhogend. Bovengenoemde statistieken hebben betrekking op veel verschillende typen branden. Vanuit het perspectief van dit onderzoek is het belangrijk om een beeld te krijgen van welke situatietekenen van invloed zijn op het gedrag dat mensen vertonen. Relevante resultaten zijn:

Hoe ernstiger het incident, hoe eerder men besluit om de situatie te verlaten, en hoe minder men geneigd is om zelf te blussen.

Bekendheid met de omgeving (inrichting) heeft geen invloed op de geneigdheid om de situatie te verlaten (men zou een negatief verband verwachten)

Naarmate mensen vaker een training of instructie hebben gehad gaan ze vaker de brandweer alarmeren of mensen evacueren als eerste actie.

In Tabel II wordt een overzicht gegeven van variabelen die van invloed zijn op het percentage personen dat de situatie verlaat (Wood, 1980).

Tabel II Variabelen die van invloed zijn op het evacuatiegedrag van mensen tijdens brandincidenten.

Factor	% mensen dat de situatie verlaat	
Rookverspreiding	- uitgebreid	65%
	- beperkt	40%
Omgeving	- thuis	67%
	- werk	40%
Eerdere ervaring	- nee	60%
	- ja	40%
Geslacht	- vrouw	60%
	- man	49%
Leeftijd	- 'jong'	59%
	- 'oud'	49%
Training	- geen	56%
	- wel	49%
Bekendheid met gebouw	- volledig	56%
	- minder	49%
Rook aanwezig	- aanwezig	56%
	- afwezig	48%

Een belangrijke constatering is dat een goede informatievoorziening essentieel is. Mensen reageren niet automatisch op een situatie (bijvoorbeeld rook), maar zijn actief bezig de situatie te interpreteren. Canter et al. (1992) stellen dan ook - gebaseerd op de ervaringen met de brand in het Londense metrostation King's Cross - dat mensen ogenblikkelijk geïnformeerd moeten worden over een brand en de gewenste actie. Hiermee worden verkeerde interpretaties en geruchten voorkomen. Belangrijk is het inzicht dat verwoord staat in het boek van de SBR (1984): "Een alarmsignaal waarschuwt, maar vormt geen bedreiging en zal daardoor ook geen paniek, maar hooguit ongerustheid veroorzaken. Een raadgeving als 'blijf kalm', 'raak niet in paniek' bevat geen informatie over wat wel te doen en is daarom zinloos. De aan het publiek verstrekte mededelingen moeten in de eerste plaats informatie bevatten over hetgeen men moet gaan doen en minder over wat er aan de hand is. Zo bevat ook de mededeling 'brand' geen aanwijzing, maar wel 'verlaat het gebouw' eventueel aangevuld met nadere instructies." Tenslotte werd in het verleden wel gedacht dat het verstandig was om een brandalarm 'stil' te houden om paniek te voorkomen, echter, daardoor ging vaak kostbare evacuatie tijd verloren met in sommige situaties onnodig veel slachtoffers als resultaat (Boer, 1993).

Tunnel operators zullen een beslissende en sturende rol moeten spelen in het geval dat evacuatie naar de andere, 'veilige' tunnelbuis noodzakelijk is. Bij een beginnende brand zullen omstanders proberen met de beschikbare brandblusmiddelen de brand te blussen. Dit is een goede zaak, want vaak kan hiermee het probleem binnen de kortste keren worden bedwongen. Pas wanneer dit niet lukt en de vlammen onbedwingbaar worden en de rookontwikkeling verder toeneemt, zal men geneigd zijn een vluchtweg te zoeken en heeft men behoefte aan directe instructies (Naish, 1996).

Chan en McCleery (1995) beschrijven enkele belangrijke aspecten die zijn toegepast in de BART tunnel (Bay Area Rapid Transit) in San Francisco en die ertoe moeten bijdragen een evacuatie zo gebruiksvriendelijk mogelijk te laten verlopen. De vluchtroute moet duidelijk zijn en goed verlicht. Tekens op de wand van de tunnel geven met een grote pijl aan waar de dichtstbijzijnde nooduitgang is en met een kleine pijl waar de erop volgende nooduitgang zich bevindt. Elke nooddeur is in een lichte kleur geverfd en er staat in grote letters het woord "EXIT" op, evenals een indicatie van de locatie waar men in de tunnel is. Alle nooddeuren hebben verticale strips van ruw, tactiel en reflecterend materiaal die aan weerskanten langs de handgrepen lopen om de deur te openen, zodat deze op de tast gevonden kunnen worden. Evacuéés worden verzocht elkaar te helpen als dat nodig is en om mensen in rolstoelen al dragend in veiligheid te brengen en de rolstoelen achter te laten. Bij het plannen van een evacuatie-procedure zal rekening gehouden moeten worden met het feit dat een bepaald proportie van de mensen in meer of mindere mate slecht ter been is. Shields en Boyce (1995) berichten bijvoorbeeld dat in Noord-Ierland 17% van de volwassenen en 3% van de kinderen in enige mate gehandicapt zijn. Van gehandicapte mensen is volgens een rapport van Shields (1993) aangetoond dat ze vier keer zo lang nodig hebben om uit een ruimte te evacueren dan mensen zonder handicap. Wanneer het erom gaat een voertuig te verlaten, hebben gehandicapte mensen zelfs ongeveer 10 keer zo veel tijd nodig als mensen zonder handicap.

Het eerste doel van een evacuatieplan moet zijn de mensen die in gevaar verkeren zover te krijgen dat zij zich snel en efficiënt op de gewenste manier gedragen. Daarvoor moeten zij de noodzakelijke informatie tot hun beschikking hebben. Het gedrag van mensen in noodsituaties is doelgericht en rationeel binnen de beperkingen van de beschikbare informatie. Veel van de vertraging die bij evacuaties optreedt is te wijten aan het feit dat mensen op zoek (moeten) gaan naar informatie die op zich laat wachten. Voor de Kanaaltunnel zijn door Berman en Ody (1995) aanbevelingen gedaan om een mogelijk informatietekort bij passagiers te voorkomen. Voor het vertrek moet reeds informatie verschaft worden waarin wordt uitgelegd welke reacties nodig zijn in noodsituaties, waarbij men ook geïnformeerd moet worden over welke informatie ten tijde van een noodsituatie zal worden verstrekt. Er zal gebruik moeten worden gemaakt van dezelfde bronnen van informatie die ook onder normale omstandigheden worden gebruikt, waarbij de overgang van 'normale' informatie naar 'nood' informatie duidelijk gemaakt moet worden. Er moet helder en eenduidig aangegeven worden welke handelingen vereist zijn, en informatie kan extra ondersteund worden door dezelfde boodschappen via verschillende bronnen over te brengen.

Aan technische veiligheidsvoorzieningen, inclusief evacuatie-procedures voor verkeerstunnels is in Nederland in het verleden al de nodige aandacht besteed. Swart (1994) heeft een uitgebreid artikel geschreven, waarin alle veiligheidsaspecten aan de orde komen. Worm en Hoeksma (1998) geven een beschrijving van de kwantitatieve risico-analyse en scenario-analyse die reeds met betrekking tot de Westerscheldetunnel zijn uitgevoerd en die leiden tot een geïntegreerde veiligheidsfilosofie. Het probleem met dergelijke analyses, zoals onlangs nog weer eens benadrukt door Evans (1998), is natuurlijk gelegen in het feit dat er praktisch geen statistische gegevens voor handen zijn om de aannamen in de analyses te toetsen. Daarom blijft volgens Evans de veiligheid in een tunnel een controversiële zaak. Als de resultaten van de risicomodellen correct zijn, is de tunnel buitengewoon veilig, maar het is duidelijk dat veel mensen, waaronder enkele experts, er niet van overtuigd zijn dat de uitkomsten correct zijn. Waar het met name nog aan ontbreekt, is kennis over en ervaring met de reacties van autoinzittenden wanneer er geëvacueerd moet worden. Hoe lang het duurt voordat mensen besluiten de auto waarin ze zitten te verlaten en zich naar de vluchtgangen begeven, is afhankelijk van hoeveel gevaar zij ervaren. Dit hangt natuurlijk af van hoeveel zij van de calamiteit kunnen zien (vlammen, rook), maar vooral ook van welke informatie en instructies zij van het tunnelbeheer krijgen. Hiernaar is nog maar heel weinig experimenteel onderzoek gedaan. Enig inzicht valt te ontleen aan een onderzoek in Engeland in 1989 en 1990 (Sime, 1995). Hier werd experimenteel vastgesteld hoe lang het onder verschillende condities van informatieverschaffing duurde voordat mensen ondergronds in een metrostation begonnen zich in veiligheid te stellen. Er waren vijf evacuatie-condities: Het laten rinkelen van een alarmbel (evacuatiemethode 1), twee stafleden die probeerden de mensen te laten evacueren (evacuatiemethode 2), een tweemaal herhaalde 'non-directieve' publieke aankondiging (P.A.) vanuit het controlecentrum (C.C.) (evacuatiemethode 3), twee stafleden plus 'directieve' P.A.'s vanuit het C.C. dat de beschikking had over CCTV monitoring van het station (evacuatiemethode 4), en 'directieve' P.A.'s (evacuatiemethode 5). Gemeten werd de tijd die verstreek onder elk van de vijf condities voordat mensen op het perron of onderaan de roltrap zich in beweging zetten en de tijd die nodig was om het station te ontruimen.

Tabel III laat zien dat er heel verschillende evacuatie-tijden bereikt worden in dezelfde fysieke omgeving door de informatie te variëren die aan de mensen wordt gegeven. Wanneer de gegeven informatie directief van aard is en er dus directe handelingsinstructies worden gegeven, blijken de mensen zich al snel na ongeveer één minuut in beweging te zetten.

Tabel III De evacuatielijden bij de verschillende evacuatiemethoden.

Evacuatie	Tijd om in beweging te komen	Tijd om in beweging te komen	Tijd om het station te ontruimen
	<i>Op het perron</i>	<i>Onderaan de roltrap</i>	
Evac. 1	8 minuut 15 sec.	9 minuten	14 minuut 47 sec.
Evac. 2	2 minuut 15 sec.	3 minuten	8 minuten
Evac. 3	1 minuut 15 sec.	7 minuut 40 sec.	10 minuut 30 sec.
Evac. 4	1 minuut 15 sec.	1 minuut 30 sec.	6 minuut 45 sec.
Evac. 5	1 minuut 30 sec.	1 minuut	5 minuut 45 sec.

Een aandachtspunt betreft de soort boodschappen of instructies die in geval van een calamiteit aan de gebruikers wordt gegeven en de technische communicatiemiddelen die voor het geven van die boodschappen worden gebruikt. In het Tunnel Engineering Handbook geeft Naish (1996) enkele nuttige suggesties voor een standaard, waaraan de moderne, langere tunnel zou moeten voldoen. De belangrijkste manier om controle te kunnen uitoefenen over de bewegingen van het verkeer in de tunnel, zowel onder normale omstandigheden als in noodsituaties, is de aanwezigheid van panelen voor het verstrekken van tekens en signalen. Er dienen dan op regelmatige afstanden boven de weg 'variable-message signs' (VMS) met 10 of 12 karakters te hangen, voorzien van signalen aan beide uiteinden voor het gebruik van de rijstrook en eventueel eronder, horizontaal gemonteerd, een driekoppig verkeerssignaal. De VMS-panelen worden zover uit elkaar geplaatst dat altijd twee panelen tegelijk voor een weggebruiker zichtbaar zijn. De operator in de controleruimte heeft programmatuur tot zijn beschikking om op de VMS-panelen verschillende boodschappen en instructies te laten oplichten. Dit kunnen stationair verlichte berichten zijn, of knipperende, of berichten (langer dan 10 of 12 karakters) die zich bewegen over de balk volgens het lichtkrant-principe.

Er zijn volgens Naish (1996) in principe vijf basisplannen voor de berichtgeving op de VMS-panelen nodig om het verkeer te kunnen dirigeren, en wel de volgende:

1. NN (normal-normal) — Beide rijstroken zijn vrij en verkeren in de normale staat met de gangbare snelheidslimiet.
2. NC (normal-closed) of CN — Eén rijstrook is open, de ander is zoals gepland gesloten. Dit plan wordt alleen gebruikt voor het gepland afsluiten van een rijstrook, links of rechts, waarbij de naast gelegen rijstrook normaal gebruikt kan worden maar met een gereduceerde snelheid.
3. CC (closed-closed) — Beide rijstroken zijn gesloten. Dit plan wordt gebruikt om een tunnelbuis geheel af te sluiten, bijvoorbeeld in verband met onderhoudswerkzaamheden.
4. NE (normal-emergency) of EN — De ene rijstrook is open, de andere gesloten. Dit plan wordt gebruikt als een reactie op een kleinschalig incident. Het verkeer wordt nog toegestaan langs het incident te rijden.

5. EE (emergency-emergency) — Een grootschalig incident, het rampen- en evacuatieplan treedt in werking.

Het evacuatieplan voor de Westerscheldetunnel is nog in ontwikkeling en ligt nog niet geheel vast. Wel is het zo dat de operator in het controle-centrum met één druk op de knop de noodprocedure in werking kan stellen. Hiermee wordt onmiddellijk de verkeersstroom voor de ingangen van de tunnel stilgelegd en wordt de linkerrijstrook in de 'veilige' tunnelbuis zo snel mogelijk verkeersvrij gemaakt. De verwachting is dat de noodprocedure binnen 60 seconden na het ontstaan van een calamiteit zal zijn gestart. Er is nog geen beslissing genomen over de exacte tijdstippen waarop de nooddeuren, die uit de gevaarlijke tunnelbuis leiden en de deuren die toegang geven tot de 'veilige' tunnelbuis, dienen te worden geopend. Het is denkbaar bij het indrukken van de noodknop door de operator eveneens onmiddellijk alle deuren van de tunnel te ontgrendelen. De vraag die dan van belang is, is hoe lang het zal duren voordat de eerste vluchtende de 'veilige' tunnelbuis binnenstapt. Het rapport van DNV (1997) gaat ervan uit dat de evacuatie begint 2 minuten na het ongevalstijdstip (de zogenaamde "wake-up time") en dus minimaal 1 minuut na het indrukken van de noodknop. Gegeven het feit dat de eerste vluchtende twee deuren moet openschuiven en de vluchtgang die 12 meter lang is, moet afleggen, zal het bij een loopsnelheid van zo'n 1 meter per seconde ongeveer 1 minuut en 15 seconden duren, alvorens de eerste vluchtende de 'veilige' tunnelbuis binnenstapt. Het DNV-rapport geeft echter ook aan dat bij een goede instructie het mogelijk is om de wake-up time te verkorten. Daarom lijkt 1 minuut de beste schatting voor de minimum tijd die verstrijkt tussen het indrukken van de noodknop met een onmiddellijke ontgrendeling van alle deuren en het verschijnen van de eerste vluchtende in de 'veilige' buis. De vraag is dan ook of de 'veilige' buis inderdaad veilig is voor de vluchtenden en of de linkerrijstrook binnen 1 minuut verkeersvrij gemaakt kan worden.

Mocht blijken dat één minuut te kort is, dan valt te overwegen om wel de deuren van de calamiteitenbuis onmiddellijk te openen bij het indrukken van de noodknop, maar een vertraging te zetten op het openen van de deuren in de wand van de 'veilige' buis. Zeker wanneer het aantal evacuées per vluchtgang niet al heel snel te groot is, is zo'n vertraging verantwoord. Sime (1995) verwijst naar onderzoek van Fruin, waaruit naar voren kwam dat pas bij een dichtheid van 0,15 m² per persoon individuele bewegingscontrole onmogelijk wordt en het gedrang in de menigte gevaarlijk wordt. Aangezien de vluchtgangen in de Westerscheldetunnel 12 m lang en 1,5 m breed zijn en dus een oppervlakte hebben van 18 m², zouden er al tot een maximum van 100 mensen bescherming kunnen vinden in de gang, voordat de deur naar de 'veilige' buis ontgrendeld wordt. Indien echter op het tijdstip dat de eerste vluchtende in de 'veilige' tunnelbuis te verwachten is daar reeds een verkeersveilige situatie is gecreëerd, is een tijdsvertraging niet noodzakelijk en wordt dan ook vanuit een psychologisch oogpunt aangeraden om de vluchtdoorsneden naar de 'veilige' tunnelbuis toe direct te ontgrendelen. Met name wanneer de calamiteit in de 'onveilige' tunnelbuis groot is, zal men snel de 'veilige' tunnelbuis in moeten kunnen en willen vluchten. Wanneer echter uit verkeerskundig oogpunt voor de vluchtende automobilisten niet voldoende veiligheid kan worden geboden is vereist dat de deuren niet direct ontgrendeld worden. Hierbij is het

noodzakelijk dat er in de vluchtgangen ook luidsprekers zijn, opdat de wachtenden te horen krijgen hoe lang het nog duurt eer de 'veilige' buis betreden kan worden en waarom dat niet meteen gebeurt. Ook moeten de vluchtenden enige informatie krijgen over wat ze achter de opengaande deuren kunnen verwachten. Wanneer men namelijk beseft dat de vluchtdeuren toegang geven tot de rijbaan van de andere tunnelbuis kan er geanticipeerd worden op de eventuele aanwezigheid van verkeer.

Er resten nog enige specifieke aandachtspunten. Zo is de vraag gesteld of er bij het geven van informatie c.q. instructies rekening gehouden moet worden met mensen die de Nederlandse taal niet machtig zijn. Het antwoord hierop kan luiden dat dit in strikte zin niet noodzakelijk is, want buitenlanders zullen zich in de regel aanpassen en in geval van een calamiteit het gedrag van andere weggebruikers imiteren. Daarentegen zou het getuigen van extra service en zou het enig risico kunnen verkleinen om bij die informatiebronnen, waarbij het niet al te ingewikkeld is, ook boodschappen in andere talen op te nemen. Hierbij kunnen we denken aan een korte informatiefolder die op diverse geschikte plaatsen wordt uitgereikt. De uitleg in deze folder — o.a. wat te doen en wat te verwachten in geval van nood — kan in verscheidene talen worden gegeven. In de tunnel kan op de matrixborden die bij voorkeur geschikt zouden moeten zijn voor 'variable-message signs' naast de Nederlandse instructie ook een Engelstalige instructie volgen, bijvoorbeeld na "verlaat uw auto" ook "leave your car", of na "zet uw radio aan" ook "turn on your radio". Wanneer tenslotte instructies aan autoinzittenden worden gegeven via de autoradio's of via de luidsprekerinstallatie in de tunnel, zou ook hierbij heel goed een verkorte vertaling van de Nederlandse instructies in het Engels kunnen volgen. In ieder geval is dit een punt dat nadere overweging verdient. Aangeraden wordt zo veel mogelijk standaard informatie te verstrekken, zodat niet aan de operator zelf overgelaten hoeft te worden welke boodschap vertrekt dient te worden. Gedacht kan hierbij worden aan een automatisch omroepsysteem met standaard opgenomen boodschappen.

Op grond van het voorgaande kan een voorlopig scenario worden opgesteld voor een evacuatie van weggebruikers in een van de buizen van de tunnel. Zo'n scenario moet uiteraard nog verder tot in alle details worden uitgewerkt. Stel er doet zich in de tunnel een ernstig incident voor. In de controlekamer krijgt men hiervan automatisch een melding via het voertuigdetectiesysteem en een visueel beeld via het CCTV-systeem. De operator moet beslissen of de situatie ernstig genoeg is om de algemene alarmknop in te drukken. Als de operator dit doet, dient het alarmsysteem onmiddellijk te weten in welke tunnelbuis er een calamiteit is en welke tunnelbuis veilig is. Het "EE"-plan voor de VMS-panelen treedt automatisch in werking. Het verkeer voor de ingangen wordt tegengehouden; het verkeer in de 'veilige' buis wordt naar de rechterrijstrook gedirigeerd en krijgt een aangepaste snelheidslimiet; het verkeer in de 'onveilige' buis krijgt de boodschap dat beide rijstroken gesloten worden vanwege gevaar verderop in de tunnel, dat zij hun voertuig tot stilstand moeten brengen en dat zij hun autoradio aan moeten zetten. Inmiddels zijn de ontsnappingsdeuren in de 'onveilige' buis ontgrendeld en is de noodverlichting aan. De volgende stap is dat auditieve boodschappen de automobilisten waarschuwen, waarbij de boodschap tegelijk via de autoradio's en de luidsprekerinstallatie in de 'onveilige' buis weerklinkt. De boodschap die

over wordt gebracht dient ongeveer als volgt te luiden: "Dames en heren, er is sprake van een noodsituatie — we have an emergency situation. Zet uw motor af en verlaat uw auto — stop your engine and leave your car. Ga naar de dichtstbijzijnde nooduitgang - go to the nearest emergency exit. Help uw medepassagiers — help your fellow passengers. Ga naar de andere, 'veilige' tunnel buis — go to the other, safe tunnel tube." Indien hiervoor ruimte aanwezig is kunnen vergelijkbare berichten tegelijkertijd op de VMS-panelen verschijnen, waarmee de informatie extra wordt ondersteund. Dergelijke instructies worden meerdere malen herhaald. Indien de situatie daarom vraagt kan de operator zelf extra informatie doorgeven aan weggebruikers ofwel aan hulpdiensten. De operator kan immers in de controleruimte zien of speciale informatie verschaft dient te worden. Indien de nooddeuren in de 'veilige' buis nog niet ontgrendeld zijn dienen in de vluchtgangen luidsprekers aanwezig te zijn, die aangeven wanneer deze deuren geopend zullen worden.

Bij een dergelijke geïntegreerde aanpak van berichtgeving en instructies mag ervan worden uitgegaan dat de evacuatie snel op gang komt en voldoende orderlijk verloopt.

3.2.2 Enkele algemene aanbevelingen 'onveilige' tunnelbuis

Het is van essentieel belang dat er een draaiboek van een rampenplan of evacuatieplan voor de Westerscheldetunnel wordt gemaakt dat voorziet in alle denkbare noodsituaties. Het verdient aanbeveling om voordat de tunnel officieel in gebruik wordt genomen, het evacuatieplan in een levensechte oefening uit te testen, waarbij vele vrijwilligers en al het tunnel- en reddingspersoneel worden betrokken en de resultaten van de oefening goed worden geëvalueerd. In Denemarken is ervaring opgedaan met dergelijke oefeningen (Rasmussen, 1995). Gebruikers en potentiële gebruikers van de tunnel dienen via diverse publiciteitsacties op de hoogte te worden gebracht van wat zij moeten doen en wat zij kunnen verwachten tijdens noodsituaties en evacuaties.

4 WORKSHOP EXPERTS

In praktijksituaties wordt reeds veelvuldig gebruik gemaakt van het afkruisen van rijstroken, zowel op open wegdelen als in tunnels, bv bij werk-in-uitvoeringssituaties. Om de rijssimulatorestudie optimaal te benutten is voorafgaand daaraan een workshop georganiseerd. Het primaire doel van de workshop was gegevens over het stilleggen van alle verkeer of over het afkruisen van één rijstrook op een tweestrooksweg te verzamelen. Voorafgaand aan de workshop waren de deelnemers geïnformeerd over het doel van de expert-meeting en was hen gevraagd op zoek te gaan naar relevante gegevens.

Een uitgebreid verslag is als Bijlage A toegevoegd aan dit rapport. Hier volgen alleen de kernpunten.

Als er een incident plaatsvindt in de Westerscheldetunnel zal dit gesignaleerd worden door middel van een SOS (snelheidsonderschrijdingssysteem), dat automatisch wordt geactiveerd. De operator wordt gewaarschuwd met behulp van een akoestisch signaal en de beeldschermen in de controlekamer tonen automatisch het camerabeeld van de locatie van het incident. De operator moet met één druk op de knop de noodprocedure in werking kunnen stellen. De operator legt hiermee o.a. de verkeersstroom voor de ingang van de tunnel stil, stelt de signalering in beide tunnelbuizen in werking en ontgrendelt alle nooddeuren van de dwarsverbindingen in de tunnel, zodat ze geopend kunnen worden door vluchtende automobilisten. Eventueel kan hierbij, alleen wanneer dit vanwege de verkeersonveiligheid in de andere tunnelbuis vereist is een tijdsvertraging worden toegepast. Het instellen van een tijdsvertraging op het ontgrendelen van vluchtdeuren is echter niet aan te raden vanuit het subjectieve veiligheidsgevoel van de vluchtenden.

Op dit moment worden tunnels in principe elke 100-150 meter voorzien van portalen. Op de open weg is dit meestal tussen de 400m en 700m, waarbij de gehanteerde afstanden sterk samenhangen met de omgeving waarin de signalering gebruikt wordt. Vanuit de deelnemers aan de workshop is gesuggereerd dat er bij het kiezen van de afstanden in de Westerscheldetunnel rekening gehouden dient te worden met het horizontale en verticale alignement van de tunnel; op lange, rechte stukken kan wellicht volstaan worden met grotere afstanden in het lengteprofiel dan op bochtige stukken of stukken met hellingen. Voor de Westerscheldetunnel wordt uitgegaan van het verkeerssignaleringssysteem met witte pijlen, rode kruizen en snelheden, zoals nu ook op open wegen wordt gebruikt. Vermoedelijk zullen de matrixborden elke 200 à 250 m worden verschaft.

Het in werking stellen van de verkeerssignaling in de gehele tunnel neemt circa 2 à 3 seconden in beslag. Een kruis zou getoond kunnen worden op de locatie waar in de andere tunnelbuis een calamiteit plaatsvindt of op alle rijstroken in de 'veilige' tunnelbuis. Opgemerkt wordt dat het beter is om de operator niet te belasten met de taak om vast te stellen waar het ongeval zich bevindt. Indien alle deuren gelijktijdig ontgrendeld worden dient de linkerrijstrook in de gehele tunnelbuis vrij te zijn van verkeer, of het verkeer over de gehele tunnelbuis stil te staan.

Over de effectiviteit van het afkruisen van een rijstrook middels verkeerssignaling zijn geen objectieve en kwantitatieve gegevens vastgelegd. Ook blijkt dat gegevens over het rijgedrag van weggebruikers bij het afkruisen van rijstroken niet voorhanden zijn. Uit ervaringen van o.a. de verschillende verkeerscentrales en de KLPD blijkt echter dat sommige weggebruikers niet onmiddellijk reageren op de verkeerssignaling en zich niet eenvoudig tot ander gedrag laten brengen. Een aantal automobilisten rijdt onder de rode kruizen door totdat men echt niet verder kan rijden, b.v. vanwege een fysieke barrière. Dit patroon valt met name in perioden met een hoge verkeersintensiteit waar te nemen. De geschatte verkeersintensiteit van de Westerschelde-tunnel is bij in gebruikname gesteld op 12.000 oplopend tot 20.000 in het jaar 2040, wat onder een lage verkeersintensiteit wordt gerekend. Wel wordt opgemerkt dat automobilisten in tunnels in het algemeen meer adequaat reageren op getoonde signalering.

Het afkruisen van de Spitsstrook op de A28 werkt redelijk goed. Gewezen wordt hier echter op het duidelijke onderscheid tussen het afkruisen van een normale rijstrook en de spitsstrook, aangezien deze strook onder normale omstandigheden geen rijstrook is. De speciale lay-out van de strook en de zichtbare aanwezigheid van camera's spelen hierbij een rol.

Onder de deelnemers van de workshop heerst sterk het idee dat bij het volledig stilzetten van verkeer niet kan worden volstaan met afkruisen door middel van verkeerssignalering alleen. De kans is groot dat weggebruikers in verwarring zullen worden gebracht indien ze plotseling met twee rode kruizen boven de rijstroken zullen worden geconfronteerd. Extra maatregelen zullen nodig zijn om de noodzaak van snelle actie aan de weggebruiker over te brengen. Het gebruik van verkeerslichten in de tunnel, die wellicht een dwingend karakter hebben, was ten tijde van de workshop nog niet overwogen. Er worden bovendien door de deelnemers vraagtekens geplaatst bij de wenselijkheid van het stilleggen van het verkeer in de tunnel, aangezien dit de mobiliteit van de hulpverlening zal vertragen. Het aanbrengen van een fysieke belemmering zou wel effectief zijn om het verkeer stil te leggen, maar is niet geschikt voor het aanbrengen in de tunnel. Sommige weggebruikers zullen proberen hoe dan ook zo snel mogelijk de tunnel uit te komen, zeker als het niet duidelijk is dat de doorgang geblokkeerd is of de reden van de beperking niet helder is. Er wordt melding gemaakt van weggebruikers die in de praktijk zelfs na het optreden van een ongeval, waarbij dus sprake is van een fysieke obstructie, om de belemmering heen proberen te komen. Er wordt gewezen op het probleem dat wanneer er één automobilist doorrijdt, er meer zullen zijn die zullen volgen. Extra informatie, bijvoorbeeld door middel van argumentatieborden, kan uitkomst bieden. Er wordt op gewezen dat deze informatie eenduidig dient te zijn, zonder te veel tekst aan te bieden. Het gebruik van een bord 'Ongeval!' zou zinvol kunnen zijn, al kan dit resulteren in minder adequate reacties in de toekomst wanneer men constateert dat er geen ongeval is in de tunnelbuis waar men rijdt. De scenario's waarover gesproken wordt zullen echter hoogst zelden voorkomen, zodat de kans dat dezelfde personen nogmaals in een dergelijke situatie terecht zullen komen zeer minimaal is.

Men trekt in twijfel of verkeersdeelnemers in de 'onveilige' tunnelbuis in geval van nood wel naar de 'veilige' tunnelbuis gaan. Er wordt gesuggereerd dat sommige mensen helemaal niet zullen proberen te vluchten. Bovendien zullen sommige mensen proberen terug te gaan naar de ingang, te voet of zelfs met hun voertuig. Onderzoek van Canter laat zien dat men niet per definitie de officiële vluchtroutes gebruikt. Er bestaat ook enige twijfel over de effectiviteit van het toespreken van mensen door middel van een geluidsinstallatie. De mogelijkheid bestaat dit te ondersteunen door in te breken op radiofrequenties zodat mededelingen via de autoradio worden kunnen worden gedaan.

Kennis over tunnels in het buitenland kan als referentiekader worden gebruikt. In Göteborg (Zweden) wordt zeer binnenkort een 1.2 km lange tunnel geopend die — behalve de lengte van de tunnel — veel overeenkomsten vertoont met de Westerscheldetunnel. Ook hier wordt gebruik gemaakt van het Nederlandse verkeerssignaleringssysteem.

Samenvattend kan gesteld worden dat er in de workshop geen kwantitatieve informatie voorhanden was aangaande het effect van het afkruisen van rijstroken op rijgedrag. Het stilleggen van verkeer in de tunnel met behulp van verkeerssignalering alleen achtte men niet haalbaar, zeker niet zonder fysieke barrières. Daarnaast zouden rode kruizen boven beide rijstroken verwarring bij de weggebruiker teweeg kunnen brengen. Bij hogere verkeersintensiteiten wordt er in het algemeen minder adequaat gereageerd op verkeerssignalering, maar in tunnels hebben weggebruikers de neiging beter gehoor te geven aan verkeersmaatregelen. Uit de workshop kwam duidelijk naar voren dat argumentatieborden wellicht positief kunnen bijdragen aan het geleiden van de verkeersstroom.

5 METHODE RIJSIMULATORONDERZOEK

Een rijsimulatorstudie biedt de mogelijkheid om proefpersonen in het toekomstige ontwerp van de Westerschelde-tunnel te laten rijden en het effect van het tonen van waarschuwingsstrategieën te onderzoeken. Hierin stond de vraag centraal hoeveel tijd het in beslag zou nemen, voordat het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis zich conform het doel van de maatregel gedraagt. Alleen indien dit gedrag wordt vertoond kunnen personen uit de 'onveilige' tunnelbuis zich met een gerede mate van veiligheid op de linker rijstrook begeven.

5.1 Proefpersonen

In totaal deden 64 proefpersonen mee aan het rijsimulatorexperiment. Alle proefpersonen waren afkomstig uit het TNO-TM proefpersonenbestand, dat een goede doorsnede bevat van de populatie van Nederlandse automobilisten. De leeftijden van de proefpersonen lagen tussen de 23 en 55 jaar. Proefpersonen hadden minstens 5 jaar hun rijbewijs, en een rijervaring van minimaal 5000 kilometer per jaar. In de groep van 64 proefpersonen namen zowel mannen als vrouwen deel aan het onderzoek.

5.2 Rijsimulator

Het experiment werd uitgevoerd in de TNO rijsimulator. Hierbij zat de proefpersoon in een cabine van een Volvo 240, waarbij het voertuig werd bediend met de gebruikelijke bedieningsmiddelen als stuur, gaspedaal en rempedaal, waarbij een automatische versnellingsbak was gemodelleerd.

Op basis van het rijgedrag van de proefpersoon berekende en projecteerde het Evans & Sutherland ESIG 2000 beeldgeneratiesysteem de bijbehorende beelden met een opfrisfrequentie van 60 Hz en een bijwerkfrequentie van 30 Hz. Het buitenbeeld werd in een horizontale

beeldhoek van 120° weergegeven door 3 BARCOGRAPHICS 801 projectoren. Voor een gedetailleerde beschrijving van de rijnsimulator zie Hoekstra, van der Horst en Kaptein (1997).

5.3 Verkeersomgeving

Op basis van bouwtekeningen van de geplande Westerscheldetunnel, zoals bij aanvang van het project door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat zijn aangeleverd, is de geometrie van de tunnel gemodelleerd. Hierbij gaat het om een tweestrooks tunnelbuis, met rijstroken van 3.50m breed, zonder vluchtstrook. Het startpunt van de rit was altijd 2 kilometer voor de tunnel, en de rit eindigde 1.5 kilometer na het verlaten van de tunnel. In werkelijkheid zal men de positionering van de matrixsignalering in het lengteprofiel af laten hangen van de verschillende zichtlengten in de Westerschelde-tunnel. Voor de eenvoud van het rijnsimulator-experiment is in het rechte deel van de tunnel de signalering elke 200 meter aangebracht, en op de trajecten met hellingen en bochten elke 100 meter.

In het experiment was ander verkeer aanwezig, waarbij het verkeer op de rechterrijstrook met een snelheid van ongeveer 80 km/h reed, en het verkeer op de linkerrijstrook met ongeveer 90 km/h. Aangezien te verwachten was dat proefpersonen sneller geneigd zouden zijn het gewenste gedrag te vertonen wanneer verscheidene voorliggers stoppen dan wel invoegen in de rechter rijstrook, ondernam het overige verkeer pas actie wanneer de proefpersoon actie ondernam. Hiermee wordt een situatie gecreëerd dat een proefpersoon uit zichzelf zijn rijgedrag aanpast en niet simpelweg reageert op vertragende of invoegende voorliggers. Nadat de proefpersoon was ingevoegd op de rechterrijstrook probeerde het overige verkeer ook langzaam in te voegen. Wanneer de proefpersoon afremde remde het overige verkeer iets minder hard af. Op deze wijze wordt het rijgedrag van een proefpersoon ingegeven door eigen initiatief, en is dit niet slechts een reactie op wat het reeds gemodelleerde verkeer aan rijgedrag vertoont.

5.4 Taak

Proefpersonen kregen de instructie om zich voor te stellen dat ze met enige haast op weg waren van werk naar huis, waarbij ze zoveel mogelijk de linkerrijstrook aan dienden te houden. Er werd vooraf niets medegedeeld over de lengte van de tunnel of over de kans op een calamiteit. Dit aangezien de kans op het optreden van een calamiteit zeer gering zal zijn. De instructie was voorts om zo te rijden als men normaal zou doen. De proefpersonen hadden spiegels tot hun beschikking, waarbij de linker- en rechterbuitenspiegel en de binnenspiegel een achteruitkijkbeeld verschaften. Zodoende kon men — indien noodzakelijk — op een veilige manier invoegen of afremmen. Voor de eerste rit werd men gevraagd een vragenlijst in te vullen over het rijden in tunnels in het algemeen. Hierna begon men aan de eerste rit. Na elke rit kreeg men even pauze. Na twee ritten door de Westerschelde-tunnel kreeg men een algemene vragenlijst over het rijden in de Westerschelde-tunnel. Na rit 3 en na rit 7, waarbij

men in beide gevallen met een calamiteit werd geconfronteerd, kreeg men een vragenlijst over de specifieke calamiteitenrit, waarbij aandacht werd besteed aan verwachtingen en de begrijpelijkheid van de aangeboden informatie. In totaal reed men 7 ritten, maar men wist vooraf niet hoeveel ritten men zou maken.

5.5 Procedure

De rijnsimulatorstudie geeft inzicht in de effectiviteit van een aantal maatregelen, waarbij het ontruimen van de linker rijstrook wordt vergeleken met het volledig tot stilstand brengen van de verkeersstroom. De twee methoden om een veilige situatie te creëren zijn gekozen in overleg met de AVV. Binnen deze twee methoden (afkruisen of stilzetten van verkeer) werden twee varianten gebruikt. Op basis van de workshop en de literatuurstudie bleek dat het op juiste wijze informeren en beargumenteren van wezenlijk belang is voor het realiseren van het gewenste effect. De verwachting was dat het standaard verkeerssignaleringssysteem met pijlen en kruizen de noodzaak voor het snel opvolgen van de signalen niet voldoende zou kunnen benadrukken. Om deze reden is er in dit onderzoek voor gekozen bij elke waarschuwingsstrategie gebruik te maken van argumentatieborden. Deze keuze wordt ook ondersteund door het feit dat er reeds plannen zijn om argumentatieborden op autosnelwegen te plaatsen om de verkeerssignalering op de verkeerssignaleringspanelen te ondersteunen. Daarnaast hebben pictogrammen de voorkeur boven geschreven tekst, aangezien deze een internationaal karakter hebben, en niet slechts te begrijpen zijn voor de Nederlands lezende automobilist.

Het afkruisen van de linker rijstrook komt in de praktijk reeds veelvuldig voor. Onder normale omstandigheden wordt de weggebruiker door middel van een witte verdrijfpijl geïnformeerd dat men de rijstrook moet verlaten, gevolgd door een rood kruis dat aangeeft dat men niet meer op de rijstrook mag rijden. Deze vorm van signalering wordt normaliter gebruikt om de weggebruiker veilig om een obstructie op de rijstrook heen te leiden. Ervaringen uit de praktijk leren dan ook dat de meeste weggebruikers wel gehoor geven aan deze signalen, maar dat een aantal weggebruikers doorrijdt tot men door de fysieke obstructie gedwongen wordt de rijstrook te verlaten. Dergelijke signalering wordt in de meeste gevallen toegepast bij werk-in-uitvoeringssituaties of bij een aanrijding op een rijstrook. In de situatie bij de Westerscheldetunnel zouden grote problemen ontstaan wanneer automobilisten het scenario in de Westerscheldetunnel zouden associëren met een dergelijke situatie, aangezien er geen fysieke obstructie is. Dit houdt in dat een aantal automobilisten in dat geval dus door zou rijden tot vluchtenden plotseling de rijstrook op komen lopen. Indien men dan nog van rijstrook zou moeten wisselen is echter reeds een onacceptabele situatie ontstaan, en is de kans groot dat vluchtenden aangereden zouden worden.

Aan het kiezen van maatregelen voor het afkruisen van de rijstrook in de Westerscheldetunnel liggen een aantal uitgangspunten ten grondslag. Behalve het feit dat weggebruikers behoefte hebben aan informatie, is het afkruisen van een rijstrook waarbij van het ene op het andere moment zich iets op de rijstrook kan bevinden een unieke situatie. Een argumentatiebord kan

echter de nadruk leggen op de noodzaak van het opvolgen van de signalen. Daarnaast zal op een of andere manier de informatie over moeten worden gebracht dat er zich mensen (in dit geval vluchtenden) in de tunnel bevinden, aangezien schrikreacties ook op de rechterrijstrook voorkomen moeten worden. Indien een vluchtende de rijstrook op komt lopen, en weggebruikers in de rechter rijstrook zouden als schrikreactie naar rechts uitwijken ontstaat opnieuw een onveilige situatie. Het is daarom ook noodzakelijk om te kiezen voor een argumentatiebord dat de weggebruikers van deze extra informatie voorziet. De RVV beschikt echter niet over een bord, dat in deze situatie geschikt lijkt om te waarschuwen voor vluchtenden en de noodzaak van het opvolgen van de signalen onderstreept. Het ontruimen van de linker rijstrook zal ondersteund moeten worden door middel van een snelheidsbeperking in de rechter rijstrook, aangezien het niet gewenst is dat op de aangrenzende rijstrook een hoge snelheid gereden wordt. Er is daarom gekozen voor het afkruisen van de linker rijstrook door middel van conventionele pijlen en kruisen, waarbij de snelheid op de rechter rijstrook langzaam af wordt gebouwd. Gekozen is hierbij voor een nieuw argumentatiebord, dat in een gevarendriehoek een vluchtende voetganger laat zien, die van links gerend komt. Voor het aanduiden van de vluchtende voetganger is gekozen voor een pictogram dat reeds bekendheid heeft, namelijk de vluchtende zoals gebruikt bij nooduitgangen in gebouwen. Het argumentatiebord kan meerdere pictogrammen tonen, waardoor het — in het geval dat er zich een calamiteit in die tunnelbuis voordoet — gebruikt wordt om de automobilisten in te lichten dat er gevlucht dient te worden. Ook kan dit bord (indien een 3e pictogram getoond kan worden) gebruikt worden om automobilisten te waarschuwen voor een file in de tunnelbuis. Op deze wijze is dit argumentatiebord multi-functioneel.

Binnen deze methode was het mogelijk een nadere nuance aan te brengen. Aangezien het belangrijk is om binnen 1 minuut de rijstrook vrij te hebben van alle verkeer is ervoor gekozen om in de ene strategie (hierna te noemen abrupte verdrijfstrategie) de maatregel meteen door te voeren, iets dat tijd scheelt, terwijl de tweede strategie (hierna te noemen geleidelijke verdrijfstrategie) de weggebruiker meer voorbereid wordt op het gewenste rijgedrag.

In de geleidelijke verdrijfstrategie — zie Figuur 2 — werd men op een bepaald moment boven de gehele linkerrijstrook in de gehele tunnelbuis geconfronteerd met een verdrijfpijl, met een snelheidsbeperking van 70 km/h op de rechter rijstrook. Na 10 seconden werd de verdrijfpijl vervangen worden door een rood kruis, en werd de 70 km/h vervangen door 50 km/h. Na nog eens 10 seconden werd de 50 km/h vervangen door 30 km/h. Alle beelden op de verkeerssignalering werden begeleid door middel van knipperlichten om de noodzaak van snel handelen in te doen zien. De snelheid van 30 km/h werd gezien als een snelheid die goed past bij de situatie dat er vluchtenden in de tunnelbuis komen. Zodra de verkeerssignalering in werking werd gesteld ging tussen de twee borden het argumentatiebord aan. Deze extra informatie moest weggebruikers voorbereiden op de te verwachten vluchtenden.



Fig. 2 De signalering die getoond wordt bij de geleidelijke verdrijfstrategie. Gedurende de eerste 10 seconden wordt signalering (1) getoond, na 10 seconden naar deze over op signalering (2), en na 20 seconden wordt signalering (3) getoond.

In de abrupte verdrijfstrategie — zie Figuur 3 — werd men in één keer geconfronteerd met de rode kruizen op de linkerstrook en de snelheidsbeperking van 70 km/h. Na 10 seconden liep de snelheid af tot 50 km/h, en 10 seconden later tot 30 km/h. Op deze wijze zou de linkerrijstrook wellicht eerder ontruimd kunnen zijn, aangezien een rood kruis visueel sterker overkomt dan een verdrijfpijl. Uit de praktijk blijkt ook dat automobilisten sneller reageren op een rood kruis dan op een verdrijfpijl. Ook in dit geval werd het argumentatiebord met de vluchtende voetganger aangeboden.



Fig. 3 De signalering die getoond wordt bij de abrupte verdrijfstrategie. Gedurende de eerste 10 seconden wordt signalering (1) getoond, na 10 seconden naar deze over op signalering (2), en na 20 seconden wordt signalering (3) getoond.

Een andere manier om een veilige situatie voor de vluchtenden te creëren is het stilleggen van verkeer in de 'veilige' tunnelbuis. Indien het verkeer geheel tot stilstand is gekomen kunnen vluchtenden zonder gevaar de andere tunnelbuis in komen. Deze optie is ook in het simulatorexperiment getoetst op effectiviteit. Uit de literatuurstudie en de workshop was naar voren gekomen dat het zeer lastig, zo niet onmogelijk is om verkeer stil te leggen zonder ingrijpen van politieagenten of slagbomen. Derhalve is een argumentatiebord hier van cruciaal belang om de noodzaak van stoppen te ondersteunen. Het tonen van twee rode kruizen is hierin geen optie, aangezien deze signalen onder bepaalde omstandigheden wordt gebruikt om verkeer over de vluchtstrook te laten rijden. Dit zou dus de verkeerde verwachting bij weggebruikers op kunnen wekken. Daarnaast is het juridisch gezien niet toegestaan om verkeer stil te leggen met rode kruizen boven de rijstroken, maar moeten daar verkeerslichten aan te pas komen. In dit verband is er dan ook voor gekozen om het verkeer in de tunnel stil te leggen op een soortgelijke wijze als nu verkeer wordt stilgelegd voor de tunnelbuis of voor bruggen. Dit is een situatie die mensen kennen, en zal wellicht leiden tot begrip voor wat er van hen wordt verwacht. Het argumentatiebord met de vluchtende leek geen goede optie om automobilisten te waarschuwen voor vluchtende automobilisten vanuit de andere tunnelbuis, aangezien dit



Figure 1. Three small, dark, rectangular objects, possibly seeds or small stones, arranged horizontally.

The objects are small, dark, rectangular, and appear to be seeds or small stones. They are arranged horizontally and are likely the same type of object as those shown in Figure 2.



Figure 2. Three small, dark, rectangular objects, possibly seeds or small stones, arranged horizontally, similar to Figure 1.

The objects are small, dark, rectangular, and appear to be seeds or small stones. They are arranged horizontally and are likely the same type of object as those shown in Figure 1. The objects are small, dark, rectangular, and appear to be seeds or small stones. They are arranged horizontally and are likely the same type of object as those shown in Figure 1.

het idee op zou kunnen wekken dat er van de automobilisten die hun auto stil dienen te zetten verwacht wordt dat men zelf gaat vluchten.

Vooraf heerste wel het besef dat er in dergelijke situatie vaak gebruik moet worden gemaakt van fysieke barrières, iets dat in de tunnelbuis zelf niet mogelijk is. Daarom boden argumentatieborden ondersteuning voor het stilzetten van het verkeer. In overleg met AVV is gekozen voor een indicatie voor een ongeval, bestaande uit een gevarendriehoek met het onderschrift "ONGEVAL". Dit argumentatiebord bestaat reeds en geeft vaak de situatie weer dat het verkeer stil komt te staan in verband met een ongeval op de rijbaan. Om het geheel nog extra te ondersteunen werd op het moment dat het rode verkeerslicht aansprong ook het woord "STOP!" getoond, dat alterneerde met het ongevalswaarschuwbord. Ook in de optie stilzetten van verkeer is een nuance aan te brengen in het tijdsbestek waarin de maatregel wordt doorgevoerd. In de ene strategie (hierna te noemen geleidelijke stopstrategie) werd het stoppen ingeleid door middel van snelheidsbeperkingen. In dit geval kost het doorvoeren van de uiteindelijke maatregel (het tonen van rood licht) meer tijd, maar zal de maatregel zelf waarschijnlijk effectiever zijn, aangezien weggebruikers beter richting het gewenste gedrag worden geleid. In de andere strategie (de hierna te noemen abrupte stopstrategie) werd afgezien van de inleidende snelheidsbeperkingen, maar werden de verkeerslichten bij het opmerken van een calamiteit direct in werking gesteld.

In de geleidelijke stopstrategie — zie Figuur 4 — werd men geconfronteerd met een snelheidsbeperking van 70 km/h op beide stroken, vergezeld van de ongevalsgavarendriehoek. Na 10 seconden werd een snelheidslimiet van 50 km/h getoond, gepaard met knipperend oranje licht op de verkeerslichten, die naast de verkeerssignalering geplaatst waren. Weer 10 seconden later een snelheidsbeperking van 30 km/h, gepaard met een vast oranje licht op de verkeerslichten. Na nog eens 10 seconden sprongen de verkeerslichten op rood, waarbij het extra bord alterneerde tussen twee boodschappen: De gevarendriehoek en het woord "STOP!".

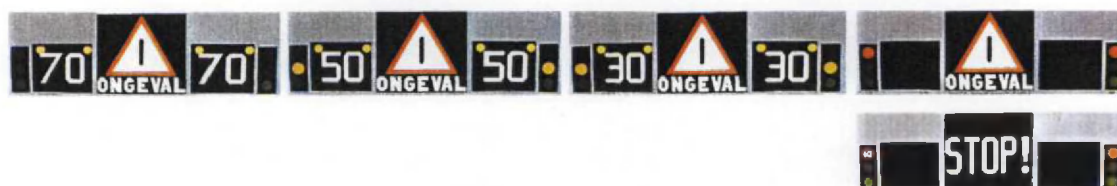


Fig. 4 Signalering die getoond wordt bij een geleidelijke stopstrategie. Gedurende de eerste 10 seconden wordt signalering (1) getoond. Na 10 seconden treedt signalering (2) in werking, met knipperende oranje verkeerslichten. Na 20 seconden wordt signalering (3) getoond, met vast oranje, en na 30 seconden alterneren signalering (4a) en (4b).

In de abrupte stopstrategie — zie Figuur 5 — werd men geconfronteerd met oranje knipperlichten in combinatie met de ongevalsgavarendriehoek, vervolgens vast oranje met de

gevaarendriehoek en dan een vast rood met het alternerende bord met de gevarendriehoek en het woord "STOP!".



Fig. 5 Signalering die getoond wordt bij een abrupte stopstrategie. Gedurende de eerste 10 seconden wordt signalering (1) getoond, met knipperende oranje verkeerslichten. Na 10 seconden treedt signalering (2) in werking, met vast oranje. Na 30 seconden alterneren signalering (3a) en (3b).

In elk van de vier strategieën werden 16 proefpersonen ingedeeld. In totaal maakte een proefpersoon 7 maal een rit door de Westerschelde-tunnel. In de praktijk zal men in de Westerschelde-tunnel onverwacht met het optreden van een calamiteit in de andere tunnelbuis worden geconfronteerd. Dit "verrassingseffect" is dan ook in de rijnsimulatorstudie gesimuleerd door een proefpersoon in slechts twee van de zeven ritten te confronteren met een calamiteit. Na een tweetal "normale" ritten door de Westerscheldetunnel werd men tijdens de derde rit ofwel geconfronteerd met een afkruising ofwel met het stopzetten van het verkeer in de tunnel (afhankelijk van de methode waarin men was ingedeeld). Na deze confrontatie met een calamiteit in rit 3 volgen weer drie normale ritten door de tunnel in rit 4, 5, en 6. Bij rit 7 is er weer sprake van een confrontatie met een calamiteit in de andere tunnelbuis, maar hierbij zal er geen vluchtende worden aangeboden op de linker rijstrook. Het rijgedrag in rit 7 kan vergeleken worden met het rijgedrag in rit 3. Dit geeft enig inzicht in de wijze waarop weggebruikers hun rijgedrag aanpassen wanneer er geen fysieke obstructie is (in de zin van een vluchtende) en het wegbeeld behalve de aanwezigheid van waarschuwingen geen bijzonderheden toont. Deze gegevens dienen echter met grote voorzichtigheid te worden behandeld, aangezien de proefpersonen reeds eerder met een calamiteit en een vluchtende voetganger in de tunnelbuis zijn geconfronteerd. In de praktijk is de kans op een dergelijke situatie minimaal.

In het simulatorexperiment werd een proefpersoon op het lange rechte deel van de tunnel (deel "e" in Figuur 1) geconfronteerd met het in werking stellen van de verkeerssignalering en/of de verkeerslichten. Op die plaats zijn namelijk de grootste problemen met de effectiviteit te verwachten. Wanneer weggebruikers niet goed kunnen overzien of zich achter een bocht een fysieke barrière bevindt, zal men eerder geneigd zijn om voorzichtig te rijden of sneller gehoor te geven aan de verkeerssignalering. Weggebruikers zullen minder snel geneigd zijn op afkruisingen te reageren zonder fysieke barrière. Wanneer men dus goed overzicht heeft op het verloop van de tunnel, en men dus als het ware kan zien dat er geen

obstructies aanwezig zijn op de rijstrook die is afgekruid, zal men minder snel reageren. In dit experiment is er dan ook voor gekozen om proefpersonen op het rechte overzichtelijke deel van de tunnel te confronteren met een calamiteit, aangezien daar het overzicht groot is. Aangezien men in de Zuid-Noord richting reed werd men in rit 3 en rit 7 geconfronteerd met een calamiteit nadat men in de tunnel weer een stuk omhoog was gereden, iets dat bij de weggebruiker de suggestie op kan wekken dat men bezig is de tunnel weer te verlaten.

Om te onderzoeken hoe er gereageerd werd op vluchtenden in de tunnelbuis kwam er in de twee experimentele ritten 1 minuut na het in werking treden van de signalering een vluchtende vanuit de dichtstbijzijnde dwarsverbinding. Hierbij ging de vluchtende naast de linker rijstrook staan en zodra de auto die voor de proefpersoon reed langs de vluchtende was gereden, liep deze de linker rijstrook op. De proefpersoon zou de vluchtende eventueel nog kunnen ontwijken, maar moest hiervoor wel actie ondernemen. Ook wanneer de proefpersoon zich reeds naar de rechter rijstrook had begeven liep de vluchtende de linker rijstrook op. De reactie in termen van uitwijkmanoeuvres en remgedrag is vastgelegd en geeft een indicatie van een eventuele schrikreactie van de proefpersoon.

De omstandigheden waaronder de proefpersonen reden werden zoveel mogelijk naar de realiteit gemodelleerd, waaronder de aanwezigheid en geluid van ander verkeer en een koers destabiliserende factor. Gewerkt werd met een relatief hoge verkeersintensiteit in de rechterrijstrook, en een minder hoge intensiteit op de linkerstrook. Er is gebruik gemaakt van zowel personenauto's als vrachtverkeer. De geldende snelheidsbeperking was gesteld op 80 km/h, waarbij het verkeer op de rechter rijstrook zich aan deze snelheidsbeperking hield, en het verkeer in de linker rijstrook wat harder reed. Proefpersonen werden bij aanvang van het experiment op de linkerstrook gepositioneerd. Gezien de hoge verkeersintensiteit op de rechter rijstrook en een hogere snelheid van het verkeer in de linker rijstrook was het voor de proefpersoon aantrekkelijk om in de linkerstrook te blijven.

Samenvattend:

In totaal reed elke proefpersoon 7 ritten, te weten 5 ritten in de controle conditie, waarbij men kon wennen aan het rijden door de tunnel, en 2 experimentele condities, waarbij men geconfronteerd werd met een afkruising of stopzetten van het verkeer. Gedurende rit 3 (met vluchtende) en rit 7 (zonder vluchtende) werd men geconfronteerd worden met een calamiteit in de andere tunnelbuis, waarbij de proefpersoon ofwel van de linker rijstrook werd verdreven, ofwel tot volledig stoppen werd gemaand. In totaal resulteerde dit in 2 (volledig stoppen of linker rijstrook afkruisen) x 2 (waarschuwingsstrategieën) = 4 experimentele strategieën. In totaal hebben 64 proefpersonen (16 proefpersonen per groep) deelgenomen aan het experiment, waarbij elke proefpersoon slechts 2 experimentele condities met een calamiteit doorliep. Dit resulteerde in 32 confrontaties met een calamiteit per strategie.

6 RESULTATEN

6.1 Vragenlijsten tunnel rijden in het algemeen

Vooraf aan het rijden door de Westerscheldetunnel kregen de proefpersonen een vragenlijst voorgelegd, waarin algemene vragen waren opgenomen over het rijden in tunnels. Proefpersonen konden op een 5-puntsschaal aangeven welk antwoord voor hen van toepassing was. Van de 64 proefpersonen gaf 19% aan het rijden door tunnels in Nederland als onprettig te ervaren, 50% als neutraal en 31% zelfs als prettig. Met name ten opzichte van rijden op de open weg ervoer men het als negatief, waarbij 35% het als minder prettig, en 21% het als veel minder prettig beoordeelde.

In de vragenlijst werd specifiek gevraagd naar de ervaringen met het rijden in lange tunnels. Hierbij gaf 26% aan dit als onprettig te ervaren, en 7% als zeer onprettig.

6.2 Vragenlijsten rijden in de Westerschelde-tunnel

Na een tweetal ritten door het virtuele ontwerp van de Westerschelde-tunnel, waarbij men niet geconfronteerd werd met een calamiteit, werden de proefpersonen gevraagd naar hun ervaringen over het rijden in de Westerschelde-tunnel. Wanneer werd gevraagd naar aspecten die men als onprettig ervoer, werden aspecten genoemd als het niet uit kunnen wijken, het benauwende gevoel, donkerte, smalle tunnelbuis, het gevoel opgesloten te zitten, de grote hoeveelheid borden, het feit dat er in een tunnel meer beweegt over het netvlies, het inspannend rijden, de kans op files, het beperkte uitzicht, het feit dat niet duidelijk is wanneer het einde van de tunnel komt, de monotonie, de afwezigheid van een vluchtstrook, het continu moeten richten van de aandacht op de tunnelwand, en de grote lengte. Als positieve aspecten noemde men de gescheiden rijbanen, voldoende ruimte, en het feit dat men in een tunnel minder afgeleid is door omgeving. In totaal beoordeelde 55% van de proefpersonen de tunnel als lang, waarvan 11% de tunnel zeer lang vond. Van de 64 proefpersonen gaf 27% aan een beetje opgelucht te zijn geweest toen het einde in zicht was, en 8% gaf zelfs aan zeer opgelucht te zijn. In totaal gaf 24% aan een tunnel van dergelijke lengte te vermijden indien men hiervoor de mogelijkheid had. Hierbij gaf de meerderheid echter wel aan dit alleen te doen in die gevallen waarbij het alternatief niet veel langer was dan de tunnel.

Verder gaf 9% aan zich niet goed te kunnen oriënteren in de tunnel op het verloop van de weg. 17% gaf aan dat het uitzicht op het verloop van de tunnel enigermate gehinderd werd door bochten, hellingen of dalingen in de tunnel, wat oriëntatie op het wegverloop kan hebben verslechterd.

Van de 64 proefpersonen gaf 18% aan het niet op prijs te stellen indien werd aangegeven hoe ver men zich van de uitgang bevond, terwijl 61% aangaf dit wel te waarderen. 18% gaf aan

het lichtniveau in de tunnel als laag tot te laag te ervaren. 27% van de proefpersonen ervoer de tunnel als een beetje smal, en 9% gaf aan de tunnel zeer smal te vinden.

6.3 Rijgedrag bij calamiteit: Methode 1: Verdrijven van linkerrijstrook

In totaal werden 32 proefpersonen onverwachts geconfronteerd met een gesimuleerde calamiteit in de tunnel. Aangezien men zich in de 'veilige' tunnelbuis bevond werd met behulp van signalen aangegeven dat de linker rijstrook vrijgemaakt moest worden van verkeer. Van deze 32 proefpersonen vielen 16 proefpersonen in de geleidelijke verdrijfstrategie, waarbij men gedurende 10 seconden met een verdrijfpijl op de linker rijstrook werd geconfronteerd, en de volgende 10 seconden met een rood kruis. De andere 16 proefpersonen vielen in de abrupte verdrijfstrategie, waarbij de linkerrijstrook meteen werd voorzien van een rood kruis, zonder dat hieraan een verdrijfpijl vooraf ging. In beide strategieën kreeg men te maken met een afbouwende snelheidsreductie op de rechterrijstrook, te weten 70 km/h gedurende de eerste 10 seconden, 50 km/h gedurende de volgende 10 seconden en 30 km/h gedurende de rest van de rit.

6.3.1 Rijstrookwisselgedrag

Om de effectiviteit van de eerste methode (het verdrijven naar de rechter rijstrook) te toetsen is in eerste instantie gekeken of de maatregel erin slaagt om de linker rijstrook binnen 1 minuut vrij te krijgen van verkeer. Figuur 6 toont na de activatie van de signalering per tijdsblok het percentage proefpersonen dat zich nog op de linker rijstrook bevindt in respectievelijk de geleidelijke verdrijfstrategie (met verdrijfpijl) en de abrupte verdrijfstrategie (zonder verdrijfpijl). De data zijn statistisch geanalyseerd met behulp van een variantieanalyse (ANOVA). Door middel van het toepassen van variantieanalyse kunnen de verschillen in gemiddelden tussen groepen onderzocht worden op significantie. Door het toepassen van statistiek kan dus als het ware berekend worden of de verschillen die gevonden worden tussen verschillende condities groot genoeg zijn om te spreken over echter verschillen, of dat deze verschillen aan toeval te wijten zijn. De genoemde F-waarde geeft de verhouding aan tussen een echt effect en de hoeveelheid ruis in de data. Hoe groter de F-waarde, hoe sterker het onderscheid in effect tussen groepen daadwerkelijk verklaard wordt door een verschil tussen deze groepen. Hierbij wordt een criterium gebruikt van 5% ($p \leq 0.05$), wat inhoudt dat een effect significant wordt genoemd indien de kans dat een effect gevonden wordt terwijl is sprake is van toeval kleiner of gelijk is aan 5%.

Wanneer proefpersonen van de linker rijstrook verdreven worden is geen significante invloed te vinden van de verdrijfstrategie (geleidelijk versus abrupt) op de rijstrookwisseltijd [$F(1,30) = 3.53$, $p > 0.07$]. Ondanks het feit dat het effect niet significant is, is er echter wel een trend waar te nemen van sneller van rijstrook wisselen indien men als signaal direct een rood kruis boven de rijstrook krijgt.

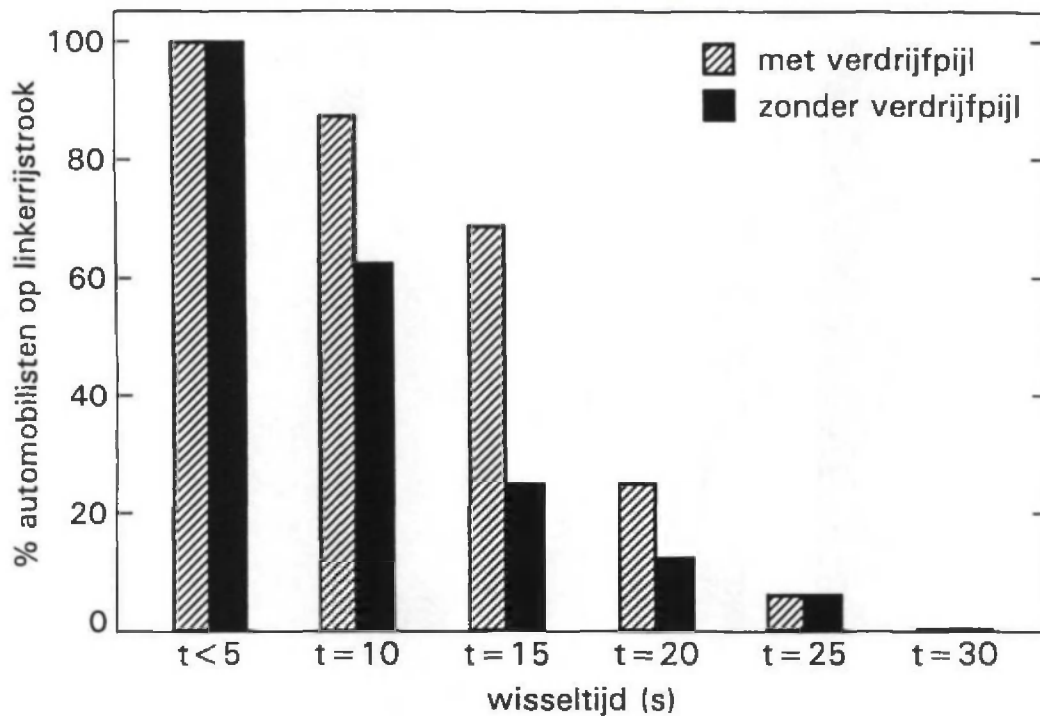


Fig. 6 Percentage proefpersonen dat zich bij een eerste confrontatie (rit 3) met de geleidelijke verdrijfstrategie (met verdrijfpijl) en met de abrupte verdrijfstrategie (zonder verdrijfpijl) op een bepaald tijdstip nog op de linker rijstrook bevindt.

Met de geleidelijke verdrijfstrategie wisselen 2 van de 16 proefpersonen in de eerste 10 seconden (tijdens het tonen van de verdrijfpijl) van rijstrook. 3 proefpersonen wisselen tussen de 10-15 seconden, dus na het vertonen van het rode kruis. De grootste groep (7 personen) wisselt tussen de 15 en 20 seconden na het aangaan van de signalering, dus tussen de 5 en 10 seconden na het aangaan van het rode kruis. Binnen de 30 seconden is iedereen verdreven van de linkerrijstrook.

Met de abrupte verdrijfstrategie, waarbij de signalering direct een rood kruis toont boven de linker rijstrook, wisselen 6 personen in de eerste 10 seconden van rijstrook. Nog eens 6 personen wisselen tussen de 10 en 15 seconden. 2 personen wisselen tussen de 15 en 20 seconden, en binnen 30 seconden is iedereen verdreven van de linkerrijstrook.

In rit 7 werden proefpersonen opnieuw geconfronteerd met een calamiteit, maar dit maal werd geen vluchtende op de linkerrijstrook aangeboden. Figuur 7 toont per verdrijfstrategie het percentage proefpersonen dat zich op een bepaald tijdstip nog op de linker rijstrook bevindt bij een tweede confrontatie met een calamiteit.

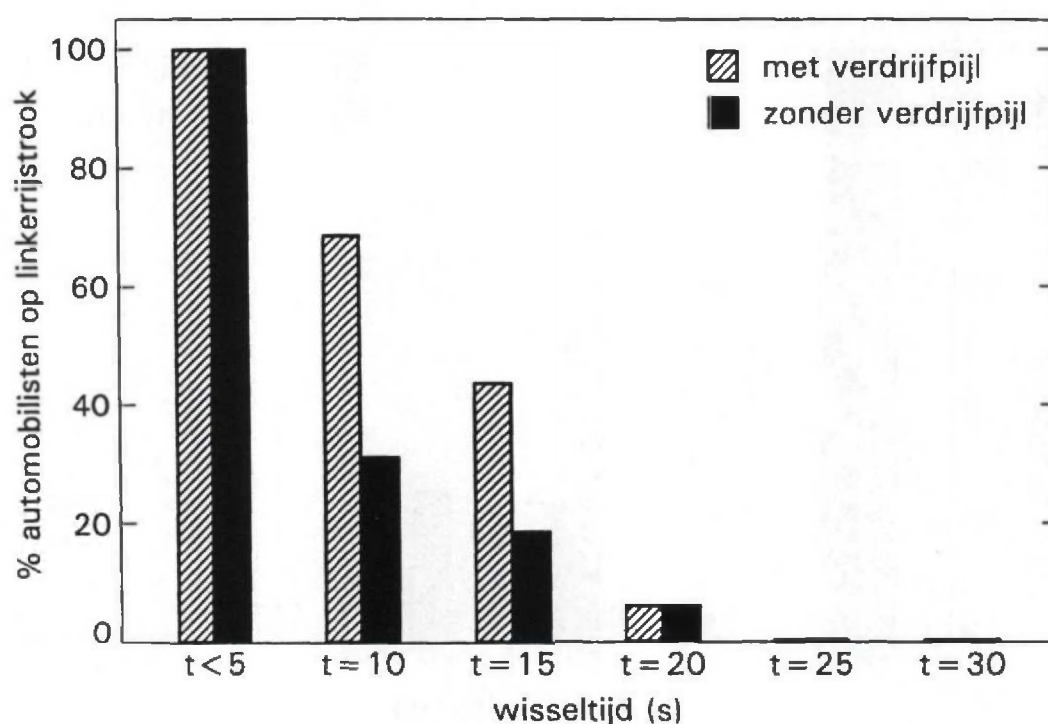


Fig. 7 Percentage proefpersonen dat zich met de geleidelijke verdrijfstrategie (met verdrijfpijl) en met de abrupte verdrijfstrategie (zonder verdrijfpijl) bij een tweede confrontatie (rit 7) op een bepaald tijdstip nog op de linker rijstrook bevindt.

Ook hier is geen significante invloed te vinden van rijstrookwisseltijd op de verdrijfstrategie (geleidelijk versus abrupt) [$F(1,30) = 3.53$, $p > 0.07$]. Ondanks het feit dat het effect niet significant is, is er echter wel weer een trend waar te nemen, waarbij men iets sneller reageert wanneer direct het rode kruis getoond wordt. In een tweede confrontatie werd met beide strategieën binnen de 25 seconden van rijstrook gewisseld. Aangezien proefpersonen enigszins voorbereid waren op wat er ging komen, en op de hoogte waren van de mogelijkheid van het verschijnen van een vluchtende in de tunnelbuis is het waarschijnlijk dat men sneller geneigd is te reageren. Wanneer de uitgevoerde rijstrookwisselingen samen worden genomen is er een trend richting het sneller van rijstrook wisselen wanneer direct het rode kruis getoond wordt. Aangezien het doel van het onderzoek is om te achterhalen of de maatregel er in de meest kritische situatie (dus bij onverwachte confrontatie met signalen) in slaagt om de rijstrook binnen 1 minuut vrij te maken van alle verkeer zal de rest van de resultaten alleen worden besproken aan de hand van de eerste confrontatie met de calamiteit. Deze waarden geven meer informatie aangezien het onverwachte aspect van groot belang werd geacht in dit onderzoek.

6.3.2 Snelheden

Wanneer gekeken wordt naar de snelheden die werden gereden na 1 minuut, dus bij het betreden van de tunnelbuis door de vluchtende (de verkeerssignalering geeft op dat moment 30 km/h aan) dan lag dit gemiddelde voor de geleidelijke verdrijfstrategie op 59 km/h, terwijl dit gemiddelde voor de abrupte verdrijfstrategie op 46 km/h lag. Er is binnen de eerste methode (verdrijven van de linker rijstrook) een significant effect van geleidelijk versus abrupt op rijnsnelheid na 1 minuut [$F(1,30)=9.54$, $p < 0.004$], waarbij er met de geleidelijke verdrijfstrategie na 1 minuut harder wordt gereden dan bij de abrupte verdrijfstrategie. Wanneer echter gekeken wordt naar de snelheid op het tijdstip dat men van rijstrook wisselde, dan is er geen significant effect te vinden van het geleidelijk verdrijven versus het abrupt verdrijven [$F(1,30) = 0.05$, $p > .826$].

6.3.3 Geobserveerde remvertraging

Per rit is voor elke proefpersoon de maximum voorkomende remvertraging berekend. Een hoge remvertraging is een indicatie voor een gevaarlijke situatie aangezien dit duidt op conflicten in de interactie met het overige verkeer. Daarnaast kan een hoge remvertraging duiden op een schrikreactie van een automobilist, die geconfronteerd wordt met een onverwacht element (zoals bv de vluchtende).

Een remvertraging van meer dan 4 m/s² kan worden gecategoriseerd als hoge remvertraging. Bij Methode 1 (naar rechter rijstrook verdrijven) werd slechts tweemaal een maximum remvertraging gevonden van meer dan 4 m/s², te weten op het moment dat de signalering voor het eerst in werking trad. Hierbij werd zowel met de geleidelijke verdrijfstrategie als met de abrupte verdrijfstrategie eenmaal een dergelijke vertraging gevonden. Het is verder niet zinvol deze waarden te analyseren, aangezien ze exact gelijk waren.

6.3.4 Vragenlijsten

24 van de 32 proefpersonen gaven in een vragenlijst na de calamiteitenrit aan dat er voetgangers op de rijstrook te verwachten waren, waarbij uiteenlopende redenen werden gegeven als pech, ongeval, wegwerkzaamheden. Eén persoon gaf aan dat in eerste instantie niet duidelijk was of er gevlucht moest worden of niet. Aangezien de snelheid op de rechter rijstrook op 30 km/h bleef staan werd dit duidelijk. In de vragenlijsten na afloop van de calamiteitenrit geven alle proefpersonen duidelijk aan dat men begrepen had dat de linker rijstrook ontruimd diende te worden.

Na een confrontatie met de vluchtende gaven 17 van de 32 proefpersonen aan dat men de vluchtende in de tunnel hadden verwacht. Hierbij gaven 6 personen aan te zijn geschrokken.

Er was geen duidelijk verschil waar te nemen in de resultaten van de vragenlijsten tussen geleidelijk en abrupt. Wel gaven een aantal mensen bij de abrupte verdrijfstrategie spontaan

aan dat ze verwacht hadden dat eerst een verdrijfpijl getoond zou worden alvorens het rode kruis werd getoond.

6.4 Rijgedrag bij calamiteit: Methode 2: Stilzetten van verkeer

De tweede methode die werd onderzocht was het stilzetten van al het verkeer in de 'veilige' tunnelbuis. Ook bij deze methode werden 32 proefpersonen onverwacht geconfronteerd met een calamiteit in de tunnel. Van deze 32 proefpersonen vielen 16 proefpersonen onder de geleidelijke stopstrategie, waarbij men eerst een snelheidsreductie te zien kreeg, alvorens de verkeerslichten in werking traden. De andere 16 proefpersonen vielen onder de abrupte stopstrategie, waarbij het in werking treden van de verkeerslichten niet werd ingeleid door een snelheidsreductie.

6.4.1 Stopgedrag

Het doel van de tweede methode is om binnen 1 minuut alle voertuigen tot stilstand te hebben gebracht. Figuur 8 toont het rijgedrag dat automobilisten vertonen wanneer ze met verschillende signalen worden geconfronteerd. In het figuur is onderscheid gemaakt tussen de geleidelijke stopstrategie, waarbij een snelheidsreductie wordt getoond, en de abrupte stopstrategie, waarbij de verkeerslichten direct in werking treden.

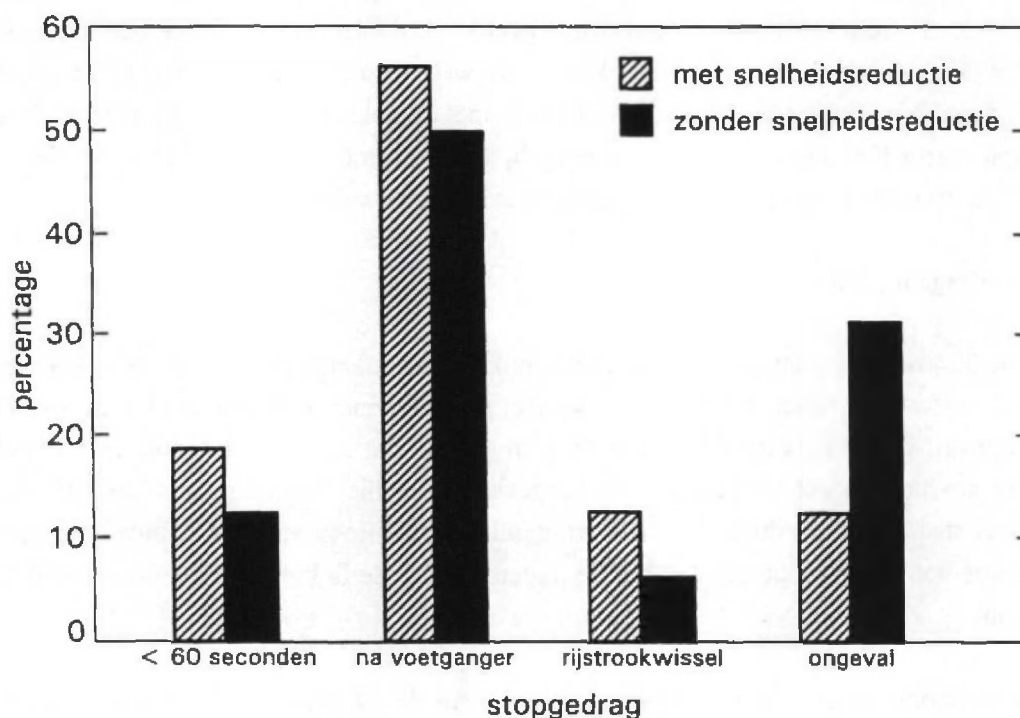


Fig. 8 Rijgedrag dat wordt vertoond wanneer automobilisten in een eerste confrontatie (rit 3) met behulp van verkeerslichten tot stilstand worden gemaand.

Met de geleidelijke stopstrategie (met snelheidsreductie) komen slechts 3 van de 16 proefpersonen binnen 1 minuut (dus zonder het verschijnen van de vluchtende) tot stilstand. 9 personen komen pas tot stilstand nadat de vluchtende in de tunnelbuis is verschenen, waarbij de rijstrook door de vluchtende versperd is. 2 personen verwisselen van rijstrook, om zodoende ongehinderd op de rechter rijstrook door te kunnen rijden. De overige 2 personen rijden de vluchtende aan.

Met de abrupte stopstrategie (zonder snelheidsreductie) komen 2 personen binnen de minuut tot stilstand. 8 personen komen tot stilstand na het verschijnen van de vluchtende in de tunnel. 1 persoon wisselt van rijstrook en 5 personen rijden de vluchtende aan.

Proefpersonen werden nog een tweede keer geconfronteerd met een calamiteit, waarbij ditmaal geen vluchtende op de linker rijstrook verscheen. Op deze wijze kan enigszins inzicht worden verkregen in het rijgedrag wanneer de rijstrook niet geblokkeerd wordt. Figuur 9 geeft het rijgedrag weer dat bij een tweede confrontatie optreedt, wanneer geen vluchtende in de tunnelbuis verschijnt.

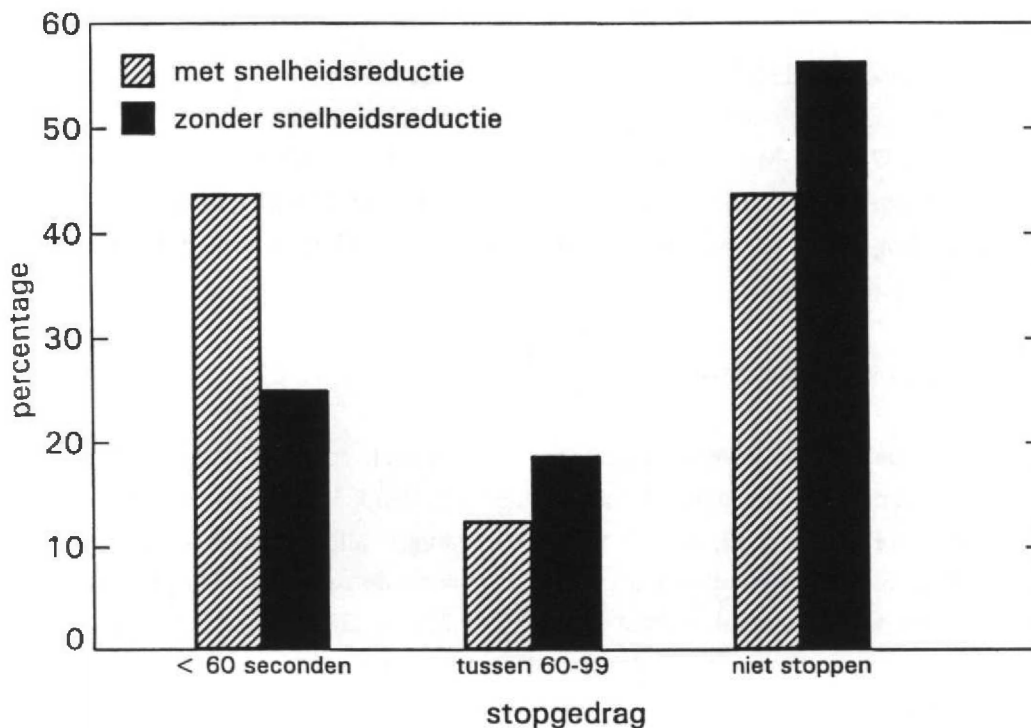


Fig. 9 Rijgedrag wanneer men een tweede keer (rit 7) met een calamiteit werd geconfronteerd, maar ditmaal zonder het verschijnen van een vluchtende.

Uit figuur 9 blijkt dat 7 proefpersonen in het geheel niet stoppen wanneer men met een snelheidsreductie en verkeerslichten tot stilstand wordt gemaand, en 9 personen stoppen geheel niet wanneer men alleen met behulp van verkeerslichten tot stilstand wordt gemaand. Uit een vergelijking met de eerste confrontatie blijkt dat meer mensen geneigd zijn om te

stoppen binnen de minuut, waarschijnlijk aangezien men geleerd heeft uit de eerste confrontatie met de vluchtende. Het percentage proefpersonen dat helemaal niet stopt is echter groot. In de praktijk is het echter zeer onwaarschijnlijk dat iemand twee keer met een calamiteit geconfronteerd zal worden. Aangezien het onverwachte aspect juist een belangrijk gegeven was in het onderzoek, en bij de tweede confrontatie niet echt gesproken kan worden van een onverwachte situatie, zal de rest van de resultaten die besproken worden alleen betrekking hebben op de eerste confrontatie met de calamiteit.

6.4.2 Snelheden

Aangezien de doelstelling van het stilzetten van het verkeer binnen 1 minuut (dus snelheid = 0 na 1 minuut) niet gehaald wordt is het zinvol om te kijken naar de snelheden die gereden worden na 1 minuut. Er is binnen de tweede methode een significant effect te vinden van het geleidelijk verdrijven versus abrupt verdrijven op snelheid [$F(1,30) = 4.17$, $p < 0.05$], waarbij in de geleidelijke stopstrategie met een lagere snelheid wordt gereden dan bij het abrupte stoppen zonder snelheidsreductie. De gemiddelde rijsnelheid op dit tijdstip ligt voor de geleidelijke stopstrategie op 37 km/h, terwijl deze snelheid voor de abrupte stopstrategie op 57 km/h ligt.

De snelheden waarmee de vluchtende wordt aangereden door de 7 proefpersonen variëren sterk. Met de geleidelijke stopstrategie wordt de vluchtende eenmaal aangereden met 17 km/h en eenmaal met 47 km/h. Met de abrupte stopstrategie zijn deze snelheden 40 km/h, 49 km/h, 44 km/h, 60 km/h en 68 km/h. Ondanks het feit dat alle 7 de proefpersonen door middel van een noodstop nog tijdig tot stilstand trachtte te komen reed men nog met dergelijk hoge snelheden de vluchtende aan.

6.4.3 Geobserveerde maximale remvertraging

Wanneer per proefpersoon gekeken wordt naar de maximale remvertraging per rit, dan wordt hiervan geen significant effect gevonden van het geleidelijk laten stoppen versus het abrupt laten stoppen [$F(1,30) = 0.39$, $p > 0.536$]. Ook wanneer alleen maximale remvertragingen boven de 4 m/s² worden meegenomen wordt er binnen de tweede methode geen significant effect gevonden van geleidelijk versus abrupt [$F(1,23) = .28$, $p > 0.599$]. Er is dus geen reden om aan te nemen dat er bij de ene strategie minder hard geremd wordt dan bij de andere strategie.

6.4.4 Benodigde remvertraging

Ondanks het feit dat de maximale remvertraging een indicatie is voor gevaarlijk remgedrag, is deze maat alleen niet voldoende in de situatie in de Westerscheldetunnel te beschrijven. Indien proefpersonen namelijk niet hebben geremd, dan zijn deze waarden erg laag, wat lijkt te suggereren dat er geen gevaarlijke situatie is ontstaan. Aangezien het doel van de maatregel is om binnen 1 minuut het verkeer stil te leggen is een alternatieve veiligheidsmaat bedacht.

Deze maat is een indicatie van hoe hard een proefpersoon zou hebben moeten remmen om nog binnen de minuut stil te staan. Deze waarde is berekend 55 seconden na het aangaan van de signalen, dus 5 seconden voor de eerste vluchtende voetganger in de tunnelbuis te verwachten is. In de berekening van de benodigde remvertraging is rekening houdend met een reactietijd van 2 seconden (reageren, voet op rempedaal en start remmen) en de momentane snelheid. Wanneer de waarde voor de benodigde remvertraging hoog is kan dit gezien worden als een indicatie voor een gevaarlijke situatie. Wanneer iemand dus 55 seconden na het aangaan van de signalering heel langzaam rijdt, dan is dit minder ernstig dan wanneer iemand snel rijdt. Ook dit verschil komt in deze maat naar voren.

Er is in deze maat een significant effect te vinden van het geleidelijk laten stoppen versus abrupt [$F(1,30) = 4.21, p < 0.049$], waarbij met de geleidelijke stopstrategie (met snelheidsreductie) de benodigde remvertraging na 55 seconden lager ligt dan bij de abrupte stopstrategie (hetgeen dus duidt op een minder onveilige situatie bij het gebruiken van een snelheidsreductie). Wanneer alleen de waarden die hoger liggen dan 5 m/s² worden meegenomen in de analyse, dan blijft dit effect aanwezig [$F(1,14) = 5.306, p < 0.037$]. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat bij een gehaalde doelstelling (het stilleggen van verkeer binnen 60 seconden) de benodigde remvertraging op 0 had gelegen.

6.4.5 Vragenlijsten

Bij Methode 2, waarbij het verkeer stilgelegd diende te worden, werd ook in een vragenlijst gevraagd naar wat men dacht dat er aan de hand was. Alle 32 proefpersonen gaven aan te denken dat het om een ongeval dan wel een aanrijding ging.

Bij de geleidelijke stopstrategie gaven 12 proefpersonen aan dat ze dachten te moeten afremmen en stoppen, en 4 proefpersonen gaven aan eventueel te moeten stoppen indien er niet verder gereden kon worden. Hierbij werd aangegeven dat men dacht voorbereid te worden op een filestaart, waarbij aangesloten diende te worden. Bij de geleidelijke stopstrategie hadden 14 proefpersonen de vluchtende in de tunnelbuis niet verwacht, en schrokken 3 proefpersonen heel erg van de voetganger. Wanneer gekeken wordt naar de vragenlijsten van de twee proefpersonen die iemand aangereden hebben, dan wordt aangegeven dat ze dachten aan te moeten sluiten bij de andere auto's, waarbij ze meenden dat met name de informatie over waar het ongeval plaats had gevonden ontbrak. Beide proefpersonen gaven aan de vluchtende niet te hebben verwacht.

Bij de abrupte stopstrategie gaf ook het merendeel van de 16 proefpersonen aan dat er sprake was van een ongeval. Een deel gaf aan niet zo goed of helemaal niet te begrijpen wat men moest doen. Met name was onduidelijk of men met het overige verkeer mee moest rijden, of dat men direct moest stoppen. 6 personen gaven aan dat ze geacht werden af te remmen en te stoppen. 4 personen gaven aan slechts snelheid te hoeven minderen en met het overige verkeer mee te rijden. 3 proefpersonen gaven aan (wellicht) op termijn te moeten stoppen. Eén proefpersoon gaf aan dat niet duidelijk was of de snelheid verminderd moest worden of

dat er daadwerkelijk stil moest worden gestaan. 14 van de 16 proefpersonen gaven aan de vluchtende niet verwacht te hebben, waarbij 9 proefpersonen een beetje tot heel erg van de voetganger schrokken.

Wanneer specifiek gekeken wordt naar de vijf proefpersonen die de vluchtende aanrijden, dan geven deze proefpersonen ook hier aan dat uit de signalen niet duidelijk was of er daadwerkelijk gestopt moest of dat men geacht werd met de stroom mee te rijden. Omdat er nog niets afwijkends in het wegbeeld te zien was (bv in termen van een ongeval) hadden deze proefpersonen nog geen voetgangers verwacht.

7 DISCUSSIE

In het algemeen kan gesteld worden dat de doelstelling van de methoden met behulp van de eerste methode (geleidelijke en abrupte verdrijfstrategie) gerealiseerd wordt, terwijl dit bij de tweede methode (geleidelijke en abrupte stopstrategie) niet het geval is.

7.1 Linker rijstrook ontruimen

Aangezien bij zowel de geleidelijke als de abrupte verdrijfstrategie binnen de eerste methode de linker rijstrook binnen 30 seconden volledig ontruimd is, zorgt het betreden van de tunnelbuis door een vluchtende na 1 minuut in dit onderzoek niet voor problemen.

Ten tijde van het verschijnen van de vluchtende werden geen harde remacties uitgevoerd. Er kan daarom niet gesproken worden over schrikreacties ten gevolge van het verschijnen van de vluchtende in termen van rijgedrag.

Wanneer nader gekeken wordt naar de vragenlijsten zoals ingevuld bij Methode 1 dan blijkt hieruit dat proefpersonen bij een confrontatie met een calamiteit goed weten wat er aan rijgedrag van hen wordt verwacht. Slechts één persoon gaf aan even gedacht te hebben zelf te moeten vluchten. Dit zou kunnen leiden tot verwarring met ernstige gevolgen. Deze gedachte werd door deze proefpersoon al snel verworpen aangezien de snelheid op de rechterrijstrook op 30 km/h bleef staan. Bij beide strategieën (met of zonder verdrijfpijl) werd slechts eenmaal harder dan 4 m/s² geremd, namelijk op het moment dat de signalering voor het eerst in werking trad. Wanneer de eerste vluchtende in de tunnelbuis te verwachten is — te weten 1 minuut na het in werking treden van de signalering — ligt de rijsnelheid gemiddeld tussen de 15 en 20 km/h hoger dan de aangegeven 30 km/h.

Aangezien het vrijmaken van de rijstrook met behulp van pijl-kruisbakken reeds veelvuldig wordt toegepast, weet ongeveer iedere automobilist wat er van hem/haar wordt verwacht. Het argumentatiebord is echter niet bekend, maar dat er ergens een voetganger in de tunnelbuis te

verwachten is wordt door proefpersonen spontaan genoemd. Ook al wordt de reden voor de aanwezigheid van een voetganger anders geïnterpreteerd (bv wegwerkzaamheden of ongeval in plaats van een vluchtende vanuit de andere tunnelbuis), de weggebruiker wordt wel alert gemaakt op de aanwezigheid van voetgangers in de tunnel. Daarnaast mag worden aangenomen dat extra informatie in termen van berichtgeving via radiokanalen zal worden gebruikt om automobilisten beter te informeren.

7.2 Stilzetten van verkeer

Met behulp van Methode 2, het stilzetten van al het verkeer, wordt de doelstelling niet binnen 1 minuut gerealiseerd. De grootste groep personen stopt pas wanneer de rijstrook geblokkeerd wordt door het verschijnen van een vluchtende. Zelfs na het verschijnen van de vluchtende in de tunnel wordt niet altijd tijdig gestopt om de veiligheid voor de voetganger te kunnen garanderen. Hierbij wordt soms sterk geremd, en zijn de snelheden na 1 minuut nog relatief hoog.

De onveiligheid met de geleidelijke stopstrategie (met snelheidsreductie) is minder groot, aangezien het hier gaat om lagere rijnsnelheden wanneer de eerste vluchtenden in de tunnelbuis te verwachten zijn. Dit komt overeen met de uitkomsten van de benodigde remvertraging na 55 seconden indien men de doelstelling nog wil halen. De benodigde remvertraging is voor de abrupte stopstrategie (zonder snelheidsreductie) hoger, wat een minder veilige situatie aanduidt.

Uit de vragenlijsten komt naar voren dat proefpersonen niet duidelijk voor ogen hebben wat ze geacht worden te doen. Proefpersonen geven aan gewaarschuwd te worden voor een ongeval, dat verderop in de eigen tunnelbuis is gebeurd. Zodoende zijn ze alert op een opstopping, maar wordt er in de meeste gevallen doorgereden zolang de verkeersstroom dit mogelijk maakt. Aangezien Methode 2 gebruik maakt van reeds bestaande signaleringsvormen en informatievoorzieningen komt het afwijkende karakter van de situatie niet naar voren, maar interpreteert men de informatie in het kader van reeds bekende situaties, te weten het optreden van een ongeval op de rijbaan.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Veiligheid in de 'onveilige' tunnelbuis

Het detecteren van een calamiteit vindt plaats via een SOS (snelheidsonderschrijdingssysteem). Deze informatie wordt doorgegeven aan een operator, die met een druk op de knop de

signalering in werking moet zetten. Hierbij wordt het verkeer aan beide tunnelingangen tegengehouden, zodat er geen nieuwe voertuigen de tunnel in kunnen rijden.

De literatuurstudie heeft inzicht gegeven in te verwachten reacties van vluchtende automobilisten. Op basis hiervan mag geconcludeerd worden dat de kans op het ontstaan van paniek en het optreden van onredelijke handelingen in de 'onveilige' tunnelbuis vrij beperkt zal zijn. Zeker wanneer weggebruikers adequaat geïnformeerd worden zal men vrij rustig handelen.

Dit heeft geleid tot de volgende aanbevelingen ten aanzien van het informeren van de automobilisten in de tunnelbuis waar de calamiteit heeft plaatsgevonden:

- Plaats een argumentatiebord tussen de twee matrixborden in het midden van de weg voor elke vluchtdeur.
- Toon op het argumentatiebord het pictogram voor "Nooduitgang".
- Informeer de automobilisten via een omroepsysteem en via inbreuk op radio-uitzendingen dat men geacht wordt de andere tunnelbuis in te vluchten. De boodschap die over wordt gebracht dient ongeveer als volgt te luiden: "Dames en heren, er is sprake van een noodsituatie — we have an emergency situation. Zet uw motor af en verlaat uw auto — stop your engine and leave your car. Ga naar de dichtstbijzijnde nooduitgang — go to the nearest emergency exit. Help uw medepassagiers — help your fellow passengers. Ga naar de andere, 'veilige' tunnel buis — go to the other, safe tunnel tube." Indien hiervoor ruimte aanwezig is kunnen vergelijkbare berichten tegelijkertijd op de VMS-panelen verschijnen, waarmee de informatie extra wordt ondersteund. Dergelijke instructies worden meerdere malen herhaald.
- Informeer de vluchtenden wat ze achter de verbindingsdeuren kunnen verwachten. Wanneer het vanuit verkeerskundig oogpunt vereist is dat er een tijdsvertraging zit op het ontgrendelen van de vluchtdeuren naar de andere tunnelbuis, geef dan ook via luidsprekers in de vluchtgangen aan wanneer de deuren ontgrendeld zullen worden.
- Zend via de radiozenders een bericht uit, waarbij in acht moet worden genomen dat dit bericht tunnel-afhankelijk uitgezonden dient te worden. Het bericht te moeten vluchten mag alleen in de 'onveilige' tunnelbuis worden uitgezonden.
- Zorg voor goede noodverlichting, zeker in de vluchtgangen.
- Besteed veel aandacht aan het calamiteitenplan tijdens publiciteit bij het openen van de Westerschelde-tunnel.
- Indien het niet noodzakelijk is vanuit verkeerskundig oogpunt wordt vanuit psychologisch oogpunt afgeraden om een tijdsvertraging toe te passen in het ontgrendelen van de vluchtdeuren naar de 'veilige' tunnelbuis toe.

8.2 Effectiviteit van verdrijven en stilzetten in de 'veilige' tunnelbuis.

Het doel van de rij simulatorstudie was het in kaart brengen van het gedrag van automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis als er een calamiteit optreedt in de andere tunnelbuis. De centrale

vraag was of er binnen 1 minuut een zodanige situatie kon worden gecreëerd dat vluchtenden veilig de tunnelbuis konden betreden. Twee maatregelen werden hiervoor onderzocht, te weten het verdrijven van het verkeer van de linkerrijstrook en het stilzetten van het verkeer.

Het rijnsimulatoronderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

- Proefpersonen hebben bij de eerste methode, waarin men van rijstrook moet wisselen, binnen 30 seconden van rijstrook gewisseld. Het wisselen verloopt zonder problemen. Er ontstaan geen gevaarlijke situaties door het invoegen in de verkeersstroom op de rechter rijstrook.
- Het stilzetten van het verkeer levert problemen op. Slechts een klein percentage van de proefpersonen staat daadwerkelijk binnen 1 minuut stil. In een aantal gevallen werd de gesimuleerde voetganger zelfs aangereden. Daarnaast geeft het rijgedrag zelf van de proefpersonen aanleiding voor het ontstaan van onveilige situaties.

8.3 De effectiviteit van geleidelijke versus abrupte introductie van de maatregel

In beide methode werden twee strategieën getoetst om de maatregel af te kondigen: geleidelijk versus abrupt. Bij het verdrijven van de linker rijstrook hield het abrupt invoeren van de maatregel in het direct tonen van een rood kruis boven de linkerrijstrook. Het geleidelijk invoeren van de maatregel werd gerealiseerd door dit rode kruis vooraf te laten gaan door een verdrijfpijl. Bij het stilzetten van verkeer hield de abrupte introductie van de maatregel in het tonen van een geel verkeerslicht, gevolgd door een rood licht. Bij het geleidelijke invoeren ging een afnemende maximum snelheid hieraan vooraf. Over deze methoden kan het volgende worden geconcludeerd:

- Bij het tonen van een verdrijfpijl, voorafgaand aan het afkruisen, waren de automobilisten even snel en veilig op de rechterrijstrook als bij het direct tonen van het rode kruis boven de linkerrijstrook.
- Bij het stilzetten van het verkeer werden verschillen gevonden tussen het rijgedrag bij de geleidelijke strategie en de abrupte strategie. Er werden geen duidelijk verschillen gevonden in het aantal hoge remvertragingen, maar de snelheid ten tijde van het verschijnen van de voetganger lag in de variant met snelheidsreductie een stuk lager. Dit geeft aanleiding om aan te nemen dat de situatie met snelheidsreductie veiliger is. Beide strategieën zijn echter onveilig, aangezien de doelstelling van de maatregel (het stilzetten van al het verkeer) in beide varianten niet gehaald wordt.

8.4 De begrijpelijkheid voor de automobilisten

De resultaten van de vragenlijst laten zien dat de proefpersonen die naar de rechterrijstrook moesten uitwijken in het algemeen goed begrepen wat er van hen werd verwacht. Bij de

maatregel waarbij de proefpersonen hadden moeten stoppen dachten veel proefpersonen echter dat zij pas stil moesten gaan staan als het overige verkeer dat ook deed, dus als het ware aansluiten bij de filestaart.

Als bij de eerste methode (het wisselen van rijstrook) het argumentatiebord met de vluchtende voetganger werd getoond, gaven veel proefpersonen aan dat zij verwachtten dat er voetgangers in de tunnel zouden zijn. In de tweede methode (stilzetten van verkeer) werd dit argumentatiebord niet gebruikt en bleek dat de kans op de aanwezigheid van voetgangers in de tunnel niet of nauwelijks door de proefpersonen genoemd. Men was hier duidelijk niet op voorbereid.

Samenvattend kan op basis van het voorafgaande worden geconcludeerd dat het verdrijven van automobilisten de voorkeur verdient boven het stilzetten van het verkeer. Het geleidelijk dan wel abrupt introduceren van deze maatregel geeft geen bijzondere verschillen. Omdat het geleidelijk introduceren, dat wil zeggen, het gebruiken van een verdrijfpijl, beter aansluit bij de ervaring die automobilisten hebben verdient deze strategie sterk de voorkeur. Hierbij moet wel beseft worden dat er op basis van de gegevens van dit onderzoek nooit geconcludeerd mag worden dat er zich nooit een automobilist op de linker rijstrook zal bevinden wanneer Methode 1 wordt toepast. De kans blijft altijd aanwezig dat een automobilist denkt slim te zijn door als enige op de linker rijstrook te blijven rijden. Het gebruik van het vluchtende-argumentatiebord lijkt noodzakelijk omdat op deze wijze automobilisten zich vrij goed realiseren dat er mensen in de tunnel kunnen lopen. Het is aan te raden het argumentatiebord tussen beide matrixborden in te hangen, aangezien het op deze wijze informatie overbrengt aan beide rijstroken. Het is aan te raden tenminste één argumentatiebord tussen twee vluchtdeuren te plaatsen, te weten iets voor de vluchtdeur.

REFERENTIES

- Alepin, J. (1982). Development of tunnel operations and preventive maintenance in Quebec. Tunnel ventilation, lighting, and operation. *Transportation Research Record* 883, 1-4.
- Amundsen, F.H. (1992). Driver behaviour in Norwegian road tunnels. *Toward a deeper understanding*. Oslo, Norway: Directorate of Public Roads.
- Amundsen, F. (1995). *Driver Opinions of a New Subsea Tunnel in Norway*. Safety in Road and Rail Tunnels Second International Conference, Grenada.
- Bakker, P. (1989). *Herkenbaarheid en gedragseffecten van actiewagens bij rijstrookafzettingen* (Rapport IZF 1989 C-6). Soesterberg, The Netherlands: TNO Instituut voor Zintuigfysiologie.
- Berman, J. & Ody, K. (1995). Human factors and emergency response: the assessment of an integrated system. In A.E.Vardy (Ed.) *Safety in Road and Rail Tunnels*, (pp.173-180). Kempston: ITC.
- Blaauw, G.J. & Horst, A.R.A. van der (1982). *Lateral Positioning Behaviour of Car Drivers Near Tunnels - Final Report* (Report IZF 1982 C-30). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Blaauw, G.J. & Leebeek, H.J. (1974). *Traffic Management at the Aqueduct in Highway 4* (Memo IZF juni 1974). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Boer, L.C. (1993). *Ship listing: reaction of passengers* (Report IZF 1993 C-26). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Brauner, C. & Heck, H.D. (1994). 300 Meter bis zum Notausgang - Katastrophenschutz im Tunnel. *Bild der Wissenschaft*, 3, 24-27.
- Canter, D. (1980). *Fires and Human Behaviour*. Chichester: Wiley.
- Canter, D., Donald, I. & Chalk, J. (1992). Pedestrian behaviour during emergencies underground: The psychology of crowd control under life threatening circumstances. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in Road and Rail Tunnels*, (pp. 135-150). Kempston, United Kingdom: ITC.
- Chan, R. & McCleery, J.E. (1995). Human factors. In A.E.Vardy (Ed.), *Safety in Road and Rail Tunnels* (pp. 163-172). Kempston, United Kingdom: ITC.
- Christensen, P.M., Særtre, S.S., Særtre, A.M. & Beckman, J.H. (1993). Tunnelangst. En deskriptiv tværsnitsundersøgelse af de psykologiske aspekter ved færden i tunneler. *Nordisk Psykologi*, 45, 305-310.
- Cleveland, D.E., Kostijnink, L.P., Waissl, G.R., Olson, P.L. & Fancher, P.S. (1985). Stopping distance sight parameters. *Transportation Research Record*, 1026, 29-36.
- Danziger, N.H. (1996). Fire life safety. In J.O.Bickel; T.R.Kuesel; E.H.King (Eds.), *Tunnel Engineering Handbook* (pp. 369-383). New York, NY: Chapman & Hall.
- DNV (1997). *Onderzoek naar de optimalisering van de afstand tussen de dwarsverbindingen in de Westerscheldetunnel* (DNV Order No. 21085). Rotterdam, The Netherlands: Det Norske Veritas.

- Evans, A.W. (1998). The appraisal of safety in the Channel tunnel. *Paper presented at the Second World Conference on Safety of Transportation*. Delft, The Netherlands: 18-20 February 1998.
- Godthelp, J. & Tenkink, E. (1990). *Sight Distance Criteria for Road Design and Roadside Information* (Report IZF 1990 C-10). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Grønhaug, A. (1997). Road tunnel linings: Design for safety, comfort and aesthetics. *Nordic Road and Transport Research*, No. 3, 4-6.
- Hoekstra, W., van der Horst, R. & Kaptein, N.A. (1997). Visualisation of road design for assessing human factors aspects in a driving simulator. *Proceedings Driving Simulator Conference*. Lyon, France: 8-9 September.
- Inokuma, A. (1996). Technology of emergency facilities, ventilation, lighting and structures of Japanese road tunnels. In German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, *Highway Traffic Safety and Tunnel Safety*, (pp. 151-188). Bergisch Gladbach, Germany: Bast, Verkehrstechnik Heft V31.
- Junca-Ubierna, J.A. (1997). Universal design for tunnels and underground space. In J.Golser, W.J.Hinkel & W.Schubert Tunnels for people. *Tunnel fuer Menschen*, (pp. 235-240). Rotterdam: Balkema.
- Kaptein, N.A. & Theeuwes, J., (1996). *Evaluatie ontwerp tunnel Rijksweg 14 bij Voorburg* (Rapport TM-1996-C032). Soesterberg, The Netherlands: TNO Technische Menskunde.
- Kölkebeck, G. (1996). Safety in road tunnels. In German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, *Highway Traffic Safety and Tunnel Safety*, (pp. 189-192). Bergisch Gladbach, Germany: Bast, Verkehrstechnik Heft V31.
- Kroes, de, J.L., Donk, P. & de Klein, S.J. (1983). 'Evaluatie van de externe effecten van verkeerssignalering.'
- Martens, M.H. & Hogema, J.H. (1997). *Effects of Variable Message Signs on driving behaviour and traffic safety: a literature survey* (Report TM-97-C046). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.
- Martens, M.H. & Kaptein, N.A. (1997). *Effects of tunnel design characteristics on driving behaviour and traffic safety: a literature review* (Report TM-97-B005). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.
- McGee, H.W., Moore, W., Knapp, B.G. & Sanders, J.G. (1978). *Decision sight distance for highway design and traffic control requirements*. Federal Administration, Washington, DC.
- Miller, J.S., Smith, B.L., Newman, B.R. & Demetsky, M.J. (1995). Effective Use of Variable Message Signs: Lessons Learned Through Development of User's Manuals. *Transportation Research Record* 1495, 1-8.
- Naish, R.J. (1996). Surveillance and control systems for highway tunnels. In J.O.Bickel, T.R.Kuesel & E.H.King (Eds.), *Tunnel Engineering Handbook* (pp. 485-498). New York NY: Chapman & Hall.

- Nemeth, Z.A., Rathi, A. (1983). Freeway work zone accident characteristics. *Transportation Quarterly*, Vol. 37, No. 1, 145-159.
- Rasmussen, A. (1995). The Storebælt Rail Tunnel: Safe operation and emergency procedures. In A.E.Vardy (Ed.), *Safety in Road and Rail Tunnels* (pp. 515-523). Kempston, United Kingdom: ITC.
- Richards, S.H. (1983). Sight distance requirements at lane-closure workzones on urban freeways. *Transportation Research Record* 864.
- Rijkswaterstaat (1985). *Maatregelen bij Werken in Uitvoering op Autosnelwegen met Signalering*. Werkgroep Beeldstanden II, Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerkunde, mei 1985.
- Rutley, K.S., Hodge, D.A.R. & Lines, C.J. (1983). *A new motorway signal* (TRRL R 1075). Crowthorne, UK: Transportation Road Research Laboratory.
- SBR (1984). *Menselijk gedrag bij brand*. Rotterdam: Stichting Bouwresearch.
- Shields, T.J. (1993). *Fire and Disabled Persons in Buildings* (BR 231, Building Research Establishment Report).
- Shields, T.J. & Boyce, K.E. (1995). Emergency egress capabilities of people with mixed abilities. In A.E.Vardy (Ed.), *Safety in Road and Rail Tunnels* (pp. 347-353). Kempston, United Kingdom: ITC.
- Sime, J. D. (1980). The concept of 'panic'. In D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour*. Chichester, United Kingdom: Wiley.
- Sime, J.D. (1995). Crowd psychology and engineering. *Safety Science* 21, 1-14.
- Stikma, K. (1993). *Tunnels in Nederland, ondergrondse transportschakels*. Rotterdam, The Netherlands: Illustra.
- Stoelhorst, H.J., Bokma, J.R., (1994). *Evaluatie verkeerssignalering: een kennisoverzicht*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Swart, L. (1994). Safety precautions in road tunnels in the Netherlands. *Paper presented at the conference "Urban Road Tunnels - Environment and Safety Conference"*, November 9.
- Theeuwes, J., van der Horst, A.R.A., Hoekstra, W. & Kaptein, N.A. (1995). *A Simulator Study on Choice and Driving Behavior in the Second Benelux Tunnel. Phase I: the Effects of Tunnel Design and Expected Likelihood of a Traffic Jam* (Report TNO-TM 1995 C-12) Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.
- Van Borssum Waalkes, J.B. (1981). Paniekbeheersing bij rampen. *Noodzaak*, 30/6, 137-140.
- Van der Horst, A.R.A. (1989). Driver decision making at traffic signals. *Transportation Research Record* 1172, 93-97.
- Van der Horst, A.R.A. & Theeuwes, J. (1993). *Advies over wegbeeld- en belevingsaspecten van een drietal varianten van een geboorde tunnel onder de Westerschelde* (Memo IZF 1993 M-9). Soesterberg, The Netherlands: TNO Technische Menskunde.
- Van Geest, F.P.J. (1993). *Bruggen - bruggen en tunnels in de waterbouw*. Culemborg, The Netherlands: Stam Techniek.
- Verwey, W.B., Alferdinck, J.W.A.M. & Theeuwes, J. (1996). *The quality of tunnel entrances in terms of safety and capacity* (Rapport TM-96-C016). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.

Wood, P.G. (1980). A survey of behaviour in fires. In D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour*. Chichester, United Kingdom: Wiley.

Worm, E.W. & Hoeksma, J. (1998). The Westerschelde tunnel: Development and application of an integrated safety philosophy. *Paper presented at the Third International Conference Safety in Road and Rail Tunnels*. Nice, France: 9-11 March 1998.

Soesterberg, 25 mei 1998

(b.a.) 

M.H. Martens

(1e auteur, projectleider)

BIJLAGE A Verslag workshop Westerscheldetunnel 22-01-1998

Mevr. J. IJsselstijn, RWS-AVV (projectbegeleider)
 Dhr. N. Bukkems, RWS- AVV
 Dhr. W. Ravenschot, RWS-AVV
 Dhr. E. Folles, RWS-AVV
 Dhr. W. Hilbers, Verkeerscentrale Utrecht.
 Dhr. J. Hoeksma, RWS-Bouwdienst
 Dhr. Th. van Kampen, Verkeerscentrale Rotterdam.
 Dhr. P. Sondervan, KLPD
 Dhr. R. van der Horst, TNO Technische Menskunde (dagvoorzitter)
 Dhr. E. Koster, TNO Technische Menskunde
 Mevr. M. Martens, TNO Technische Menskunde

1 Opening/welkom

De dagvoorzitter heet alle aanwezigen welkom. Aanvankelijk zou de heer Janssen van TNO Technische Menskunde de workshop voorzitten, maar deze was helaas verhinderd.

2 Introductie deelnemers

Op verzoek van de voorzitter gaf elke deelnemer een korte introductie van zichzelf. Hierbij werd aangegeven welke rol men in het Westerschelde-project speelt en op welk vakgebied de relevante kennis en/of ervaring ligt. Genoemde vakgebieden waren onder andere technische en praktische ervaringen met verkeerssignalering, het afkruisen van rijstroken, tunnelbouw, en dynamisch verkeersmanagement.

3 Doel en werkwijze

Door TNO werd een inleiding gegeven in het doel van de workshop en de werkwijze van de ochtend:

De voorbereidingen voor een vaste oeververbinding bij de Westerschelde, waarbij een tunnel van 6.6 km lang door de bodem van de Westerschelde geboord wordt zijn reeds gestart. De Westerschelde-tunnel zal bestaan uit twee afzonderlijke tunnelbuizen met elk twee rijstroken, waarbij men ten tijde van de verslaggeving een snelheidslimiet van 80 km/h wilde hanteren. Uit financiële overwegingen is er geen vluchtstrook in de tunnel opgenomen, en zal er geen aparte voetgangersbuis voor een eventuele evacuatie worden aangelegd. Om echter in geval van calamiteiten een evacuatie van vluchtende automobilisten naar de andere tunnelbuis mogelijk te maken, zullen om de 250 m dwarsbuizen worden aangelegd, die de twee tunnelbuizen met elkaar in verbinding stellen. De afstand tussen beide tunnelbuizen is circa 11

meter. In het geval van een evacuatie zullen vluchtende automobilisten uit de 'onveilige' tunnelbuis direct op de linkerrijstrook uitkomen van de 'veilige' tunnelbuis. Om gevaarlijke situaties te vermijden zal het verkeer van de linkerrijstrook in de 'veilige' buis in dit geval vóór de vluchtenden de tunnel inkomen verdreven moeten zijn naar de rechterrijstrook, of zal het verkeer reeds stop moeten zijn gezet. Daarnaast zal het verkeer bij de ingang van beide tunnelbuizen moeten worden tegengehouden.

TNO Technische Menskunde (TM) voert op dit moment in opdracht van Rijkswaterstaat AVV onderzoek uit naar de verkeersveiligheid in de 'veilige' tunnelbuis bij evacuatie in de Westerscheldetunnel, waarbij weggebruikers worden geconfronteerd met vluchtende voetgangers uit de 'onveilige' tunnelbuis. Binnen het project wordt deels samengewerkt met het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie (COV), dat zich zal richten op het verkeer in de 'onveilige' tunnelbuis.

Bij ernstige calamiteiten worden de deuren naar de 'veilige' tunnelbuis ontgrendeld. Naast de vraag of er voldoende tijd beschikbaar is om alle verkeersdeelnemers in de 'veilige' tunnelbuis tijdig van de linkerstrook af te leiden rest ook de vraag welk schrikeffect bij de weggebruikers op de rechterstrook in de 'veilige' tunnelbuis wordt opgewekt, wanneer er zich onverwacht vluchtenden op de linkerrijstrook bevinden. Weggebruikers dienen hier hoogstwaarschijnlijk op voorbereid te worden.

Een doel van het Westerschelde-project is het ontwikkelen van een strategie voor de te nemen maatregelen, die afhangt van de plaats waar de calamiteit zich voordoet en zich zal moeten richten op het eenduidig informeren van automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis. Hiertoe dienen maatregelen op te worden gesteld, die resulteren in het verdrijven van het verkeer van de linkerstrook binnen het tijdsbestek dat hierop van toepassing is. Hierbij kan dus gedacht worden aan het verdrijven naar de rechterstrook met een lage snelheid, of het stopzetten van al het verkeer op beide rijstroken.

In praktijksituaties wordt reeds veelvuldig gebruik gemaakt van het afkruisen van rijstroken, zowel in tunnels als op open wegdelen, zoals bij werk-in-uitvoeringssituaties. Kennis over de effectiviteit van verkeerssignalering in het vrijmaken van een rijstrook kan gebruikt worden in dit project. Gegevens aangaande de tijd die het duurt voordat een rijstrook volledig ontruimd is, en het rijdrag als reactie op afkruisingen zijn hierbij van belang.

Deze workshop, waarbij deskundigen op het gebied van verkeerssignalering en tunnels uitgenodigd zijn, heeft als doel gegevens te verzamelen over huidige ervaringen en toepassingen van verkeerssignalering voor het afkruisen van één rijstrook op een tweestrooksweg of het stilleggen van alle verkeer. Het doel van de workshop is aandacht te besteden aan huidige ervaringen met gehanteerde strategieën in verkeerstunnels en Incident Management strategieën. Specifieke maatregelen, die in de Westerscheldetunnel toegepast zouden kunnen worden, kunnen besproken worden, zoals het verschaffen van additionele informatie om te waarschuwen voor vluchtenden in de tunnel, en de noodzaak van fysieke afscherming van vluchtenden. In deze workshop zijn met name data de volgende vragen interessant:

- Binnen hoeveel tijd na het instellen van een rood kruis dan wel een verdrijfpijl is een rijstrook ontruimd?

- Op welke wijze wordt op dit moment het verkeer stilgelegd op autosnelwegen zonder dat er sprake is van een direct aanwijsbare oorzaak voor de opgelegde restricties?
- Speelt de fysieke aanwezigheid van een obstructie (zoals bv een actiewagen) op de afgekruiste rijstrook een rol bij het vrijmaken van een rijstrook of het stilleggen van verkeer?
- Hoeveel bestuurders rijden nog door op de rijstrook wanneer men plotseling met een rood kruis geconfronteerd wordt?
- Is het vertoonde rijgedrag afhankelijk van de verkeersintensiteit?
- Wat zijn de huidige ervaringen met verkeerssignalering in verkeerstunnels?
- Wat zijn de buitenlandse ervaringen met dergelijke maatregelen?
- Wat zijn de ervaringen met calamiteiten in tunnels?

De gegevens die op de workshop worden aangedragen zullen worden gebruikt als aanvulling op de literatuurstudie en, ten dele, als input voor het rijsimulatorexperiment, waarbij weggebruikers onverwachts met een calamiteit geconfronteerd zullen worden.

4 Inbreng deelnemers

4.1 *Afkruisen rijstrook*

Tunnels worden in principe elke 100 meter voorzien van portalen. Op de open weg is dit tussen de 300m en 700m, waarbij de gehanteerde afstanden echter sterk samenhangen met de omgeving waarin de signalering gebruikt wordt. Vanuit de deelnemers wordt gesuggereerd dat er bij het kiezen van de afstanden in de Westerschelde-tunnel rekening gehouden dient te worden met het horizontale en verticale alignement van de tunnel; op lange, rechte stukken kan wellicht volstaan worden met grotere afstanden in het lengteprofiel dan op bochtige stukken of stukken met hellingen.

Als er een incident plaatsvindt wordt dit gesignaleerd door middel van SOS (snelheidsonderschrijdingssysteem), dat automatisch wordt geactiveerd. De operator wordt gewaarschuwd met behulp van een akoestisch signaal en de beeldschermen in de controlekamer tonen automatisch het camerabeeld van de locatie van het incident. De operator kan met één druk op de knop de noodprocedure in werking stellen. Hierdoor wordt o.a de verkeersstroom voor de ingang van de tunnel stilgelegd, wordt de linkerrijstrook in de 'veilige' tunnelbuis verkeersvrij gemaakt (op een nog nader te bepalen wijze) en worden alle nooddeuren van de dwarsverbindingen in de tunnel ontgrendeld (eventueel met een tijdvertraging), zodat ze geopend kunnen worden door vluchtende voetgangers. Er is nog geen beslissing gemaakt over de exacte tijdstippen waarop de nooddeuren, die uit de gevaarlijke tunnelbuis leiden en de deuren die toegang geven tot de 'veilige' tunnelbuis, dienen te worden geopend. Dit zal ook mede afhangen van de tijd die het kost om de weggebruikers in de 'veilige' tunnelbuis van de linkerrijstrook te verdrijven.

Onder de deelnemers heersen verschillende meningen aangaande de locatie waar de verkeerssignalering een rood kruis moet tonen. Een kruis zou getoond kunnen worden op de locatie waar in de ander tunnelbuis een calamiteit plaatsvindt of op alle rijstroken in de 'veilige'

tunnelbuis. Het in werking stellen van de verkeerssignalering in de gehele tunnel neemt circa 2 à 3 seconden in beslag. Opgemerkt wordt dat het beter is om de operator niet te belasten met de taak om vast te stellen waar het ongeval zich bevindt. Daarnaast zal het een en ander ook afhangen van de locatie van de vluchtdeuren, die ontgrendeld worden. Indien alle deuren gelijktijdig ontgrendeld worden dient de linkerrijstrook in de gehele tunnelbuis vrij te zijn van verkeer.

Over de effectiviteit van het afkruisen van een rijstrook middels verkeerssignalering zijn geen objectieve en kwantitatieve gegevens vastgelegd. Ook blijkt dat gegevens over het rijgedrag van weggebruikers bij het afkruisen van rijstroken niet voorhanden zijn. TNO-TM heeft wel eens onderzoek gedaan naar het effect van waarschuwingen i.v.m. zogenaamde 'actiewagens' bij werk-in-uitvoeringssituaties.

Uit ervaringen van o.a. de verschillende verkeerscentrales en de KLPD blijkt echter het volgende:

- ▶ Sommige weggebruikers reageren niet onmiddellijk en laten zich niet eenvoudig tot ander gedrag brengen. Een aantal automobilisten rijden onder de rode kruizen door tot dat ze echt niet meer verder kunnen, bv door een fysieke barrière. Dit patroon valt met name in perioden met een hoge verkeersintensiteit waar te nemen².
- ▶ Automobilisten reageren in tunnels beter op signalering.

Het 'afkruisen' van de Spitsstrook' op de A28 werkt wel redelijk goed. Gewezen wordt op het duidelijke onderscheid tussen het afkruisen van een normale rijstrook en de spitsstrook. De speciale lay-out van de strook en de zichtbare aanwezigheid van camera's spelen hierbij een rol. Er kan waarschijnlijk niet worden volstaan met afkruisen alleen. Extra maatregelen zijn nodig om de noodzaak van snelle actie aan de weggebruiker over te brengen. Fysieke belemmering wordt wel effectief genoemd, maar is niet geschikt voor een tunnel. Extra informatie, bijvoorbeeld door middel van argumentatieborden, kan hierbij uitkomst bieden. Er wordt op gewezen dat deze informatie wel duidelijk dient te zijn, waarbij niet te veel tekst moet worden aangeboden. Het gebruik van een bord 'Ongeval' zou zinvol kunnen zijn, al kan dit resulteren in minder adequate reacties wanneer men constateert dat er geen ongeval is in de tunnelbuis waar men rijdt. De scenario's waarover gesproken wordt zullen echter hoogst zelden voorkomen, zodat de kans dat dezelfde personen nogmaals in een dergelijke situatie terecht zullen komen zeer minimaal is.

4.2 *Stilleggen verkeer*

Als voorbeeld voor het stilleggen van het verkeer voor de ingang van een tunnelbuis, wordt de gangbare procedure geschetst die men volgt als er een te hoge vrachtwagen wordt gesignaleerd. Slagbomen voor de tunnelingang worden handmatig bediend en worden als laatste redmiddel gezien om het verkeer daadwerkelijk tot stilstand te brengen. Met signalering alleen krijg je het niet voor elkaar om het verkeer stil te zetten, en zal verwarring bij de

² De geschatte verkeersintensiteit van de Westerschelde tunnel is bij ingebruikname gesteld op 12.000 oplopend tot 20.000 in het jaar 2040. Ter vergelijking: de Schiphol tunnel kan rekenen op 160.000 voertuigen. De intensiteit in de Westerscheldetunnel wordt dus laag geacht.

weggebruiker worden opgewekt. Een mogelijke bron van gegevens over deze procedure is te vinden aangaande de brug over het Zwartewater op de A6, waarbij ook slagbomen toegepast worden. Bij TNO-TM is informatie beschikbaar over de Vechtbrug op de A1.

4.3 *Ervaring verkeerssignalering in tunnels*

Het stilleggen van het verkeer in de tunnel zelf met behulp van verkeerssignalering wordt tot nog toe niet gedaan. Er wordt onder de deelnemers sterk betwijfeld of het überhaupt mogelijk is om weggebruikers stil te zetten in een tunnel, met name als er geen sprake is van een fysieke belemmering. Ook zou het plotseling verschijnen van twee rode kruizen verwarring bij de weggebruiker op kunnen roepen. Sommige weggebruikers zullen proberen hoe dan ook zo snel mogelijk de tunnel uit te komen, zeker als het niet duidelijk is dat de doorgang geblokkeerd is of de reden van de beperking niet helder is. Er wordt melding gemaakt van weggebruikers die zelfs na het optreden van een ongeval, waarbij dus sprake is van een fysieke obstructie, om de belemmering heen proberen te komen. Er wordt gewezen op het probleem dat wanneer er één automobilist doorrijdt, er meer zullen zijn die zullen volgen. Van het gebruik van twee rode kruizen boven de rijstroken om het verkeer volledig stil te leggen wordt dan ook weinig verwacht. Het gebruik van verkeerslichten in de tunnel, die wellicht een dwingender karakter hebben, is nog niet overwogen.

Er worden bovendien door de deelnemers vraagtekens geplaatst bij de wenselijkheid van het stilleggen van het verkeer in de tunnel, aangezien dit de mobiliteit van de hulpverlening zal vertragen.

4.4 *Buitenlandse ervaringen*

- ▶ In Göteborg (Zweden) wordt zeer binnenkort een 1.2 km lange tunnel geopend die — behalve de lengte van de tunnel — veel overeenkomsten vertoont met de Westerschelde-tunnel. Er wordt in deze tunnel gebruik gemaakt van het Nederlandse verkeerssignaleringsstelsel. De heer Bukkems gaat na of hierover documentatie bestaat.
- ▶ Er wordt melding gemaakt van Noorse onderzoeken die het rijden in lange tunnels beschrijven (o.a. artikelen van Amundsen)
- ▶ Er wordt melding gemaakt van Zweedse onderzoeken (o.a. gerelateerd aan het Ringweg-project rond Stockholm).
- ▶ In bijvoorbeeld de Gotthard tunnel wordt met verkeerslichten in de tunnel zelf gewerkt.

5 Overige punten

- ▶ Het wordt betwijfeld of mensen in geval van nood wel naar de 'veilige' tunnelbuis gaan. Er wordt gesuggereerd dat sommige mensen helemaal niet zullen proberen te vluchten. Bovendien zullen sommige mensen proberen terug te gaan naar de ingang, te voet of zelfs met hun voertuig. Er bestaat een onderzoek van professor Canter waaruit naar voren komt dat men niet per definitie de officiële vluchtroutes gebruikt.

- ▶ De effectiviteit van het toespreken van mensen door middel van een geluidsinstallatie wordt in twijfel getrokken. De mogelijkheid bestaat om in te breken op radiofrequenties zodat mededelingen via de autoradio worden kunnen worden gedaan. Hier is nog geen gebruik van gemaakt.
- ▶ Een inhaalverbod voor vrachtwagens wordt aangestipt. Het aanbrengen van een doorgetrokken asmarkering in combinatie met een dergelijk verbod wordt niet verstandig geacht.
- ▶ Op dit moment is er een pilot gaande in Eindhoven waarbij de effectiviteit van het hulpverleningssysteem bij het detecteren van een ongeval/incident wordt bestudeerd. Er wordt onder andere gekeken naar de tijd die het proces van melding tot het arriveren van de hulpverlening ter plaatse in beslag neemt.

6 Conclusies

- ▶ Over het effect van het afkruisen van rijstroken op rijgedrag bestaat zeer weinig (kwantitatieve) informatie.
- ▶ Het stilleggen van verkeer in de tunnel met behulp van verkeerssignalering is niet haalbaar, zeker niet zonder fysieke barrières. Daarnaast kan het plotseling tonen van twee kruisen boven de rijstroken resulteren in verwarring bij de weggebruikers.
- ▶ Bij hogere verkeersintensiteiten wordt er minder adequaat gereageerd op verkeerssignalering.
- ▶ In een tunnel hebben weggebruikers de neiging beter gehoor te geven aan verkeersmaatregelen.
- ▶ In het geval van het opmerken van een calamiteit kan binnen enkele seconden na het indrukken van de noodknop een maatregel, zoals het instellen van rode kruisen en gematigde snelheden gerealiseerd zijn over de gehele tunnallengte.
- ▶ Voor de Westerscheldetunnel wordt uitgegaan van eenzelfde verkeerssignaleringssysteem als nu op open wegen wordt gebruikt, dus niet zoals nu wordt toegepast in reeds bestaande tunnels.
- ▶ De verwachting is dat argumentatieborden ositief bijdragen aan het geleiden van de verkeersstroom.

De volgende projecten/conferenties kunnen wellicht zinvolle informatie opleveren:

- Tunnelprojecten in Noorwegen en Zweden (o.a. Oslo, Ringweg rond Stockholm, Göteborgtunnel)
- ITS in Berlijn, waarvan een cd-rom beschikbaar is.
- Safety in Road and Rail Tunnels (Internationale conferenties, proceedings)
- Brits onderzoek van Canter naar het gedrag van menigten in noodsituaties.
- De Spitsstrook op de A28.
- De Vechtbrug op de A1.
- Automatische slagbomen bij de brug over het Zwartewater op de A6.
- Pilot in Eindhoven waarin geautomatiseerd hulpverleningssysteem wordt geëvalueerd.

