

Tunnelwanden naast een vluchtstrook hebben geen invloed

Automobilisten wijken uit voor een nabijgelegen tunnelwand

Ir. G. J. Blaauw, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, thans Volvo Car te Helmond

Ir. A. R. A. van der Horst, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

Ir. A. Wilmink, Dienst Verkeerskunde, Rijkswaterstaat, lid PIARC-werkgroep 'Traffic and Geometry'

1. Inleiding

In het kader van de PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) wordt door een groot aantal landen samengewerkt op het gebied van de weginfrastructuur. Iedere vier jaar wordt een groots opgezet congres georganiseerd waar de diverse comités en werkgroepen rapporteren over hun werkzaamheden in de afgelopen periode. In oktober 1983 vond het congres in Sydney plaats. Er zijn in het PIARC-kader ondermeer comités op het gebied van Interurban Roads, Urban Roads, Road Tunnels en enkele constructieve aspecten. Nederlandse vertegenwoordigers participeren in diverse van deze comités en de hieronder ressemblerende werkgroepen.

Het 'Road Tunnels Committee' houdt zich ondermeer bezig met tunnelventilatie, luchtverontreiniging, verlichting, veiligheid, onderhoud en exploitatie, tunnelgeometrie en verkeer. Dit laatste onderwerp wordt behandeld door de werkgroep 'Traffic and Geometry'. Deze werkgroep, onder Nederlands voorzitterschap, onderzoekt welke invloed de geometrie van een tunnel heeft op de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid.

Voorafgaand aan het vorige congres (Wenen, 1979) werd door de werkgroep onderzoek verricht en internationale ervaring uitgewisseld over:

- de verhouding tussen de theoretische en werkelijke capaciteit van autosnelweg-tunnels (2 x 2 rijstroken);
- het snelheidsgedrag van automobilisten voor en in tunnels;
- dwarsposities van voertuigen in tunnels;
- snelheids/intensiteitsrelaties;
- ongevallen en incidenten in tunnels.

Ten behoeve van het congres in Sydney onderzocht de werkgroep onder meer:

- de verhouding tussen de theoretische en werkelijke capaciteit van autoweg-tunnels (één tunnelbuis met twee richting-verkeer);
- snelheids/intensiteitsrelaties;
- dwarsposities van voertuigen vóór en in tunnels in vergelijking met dwarsposities op (open) wegvakken;
- ongevallen en incidenten in tunnels in relatie met verkeersbeheersingsmaatregelen;
- het profiel van ruimte naast de rijstrook.

De Nederlandse bijdrage heeft zich vooral gericht op nader onderzoek naar het dwarspositiegedrag van automobilisten die een tunnelingang naderen. Het onderzoek

werd in opdracht van de Dienst Verkeerskunde uitgevoerd door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO en wordt in dit artikel nader toegelicht.

2. Probleemstelling

Vanuit het kader van de rijtaak is het mogelijk hypothesen op te stellen over de te verwachten effecten van een tunnelwand op het rijgedrag. Indien ervan wordt uitgegaan dat de plaatselijke situatie geen beroep doet op vaardigheden ten aanzien van routekeuze en/of ontwijkmanoeuvres met andere verkeersdeelnemers, lijkt de probleemstelling zich op deze plaats te kunnen beperken tot het niveau van de koers- en snelheidsregeling van het eigen voertuig en de effecten daarvan op de verkeersstroom.

Voor de uitvoering van de koers- en snelheidsregeling dient de bestuurder te beschikken over voldoende informatie over de eigen koers en snelheid in relatie tot de beschikbare ruimte. In een relatief stationaire situatie zal de bestuurder zich kunnen aanpassen aan de weg- en verkeerskenmerken en een min of meer constant (en voorspelbaar) rijgedrag in termen van koers- en snelheidsregeling laten zien. Bij plotselinge veranderingen in deze kenmerken, zoals bijvoorbeeld bij het naderen en passeren van een tunnelingang, zal de bestuurder zich aanpassen aan de zich wijzigende situatie en zal mogelijk een discontinuïteit in het koers- en snelheidsgedrag optreden. Deze discontinuïteiten komen tot uiting in het verloop van de eigen laterale positie en de snelheid (of volgafstand tot voorligger). Wijzigingen in deze variabelen kunnen eveneens invloed hebben op de verkeersstroom als geheel (intensiteit, dichtheid) en onder kritische omstandigheden leiden tot een reductie van de maximale capaciteit van het wegvak. Uiteraard kunnen de (onvoorspelbare?) veranderingen in de laterale positie en de snelheid van het voertuig ook leiden tot conflicten met andere voertuigen.

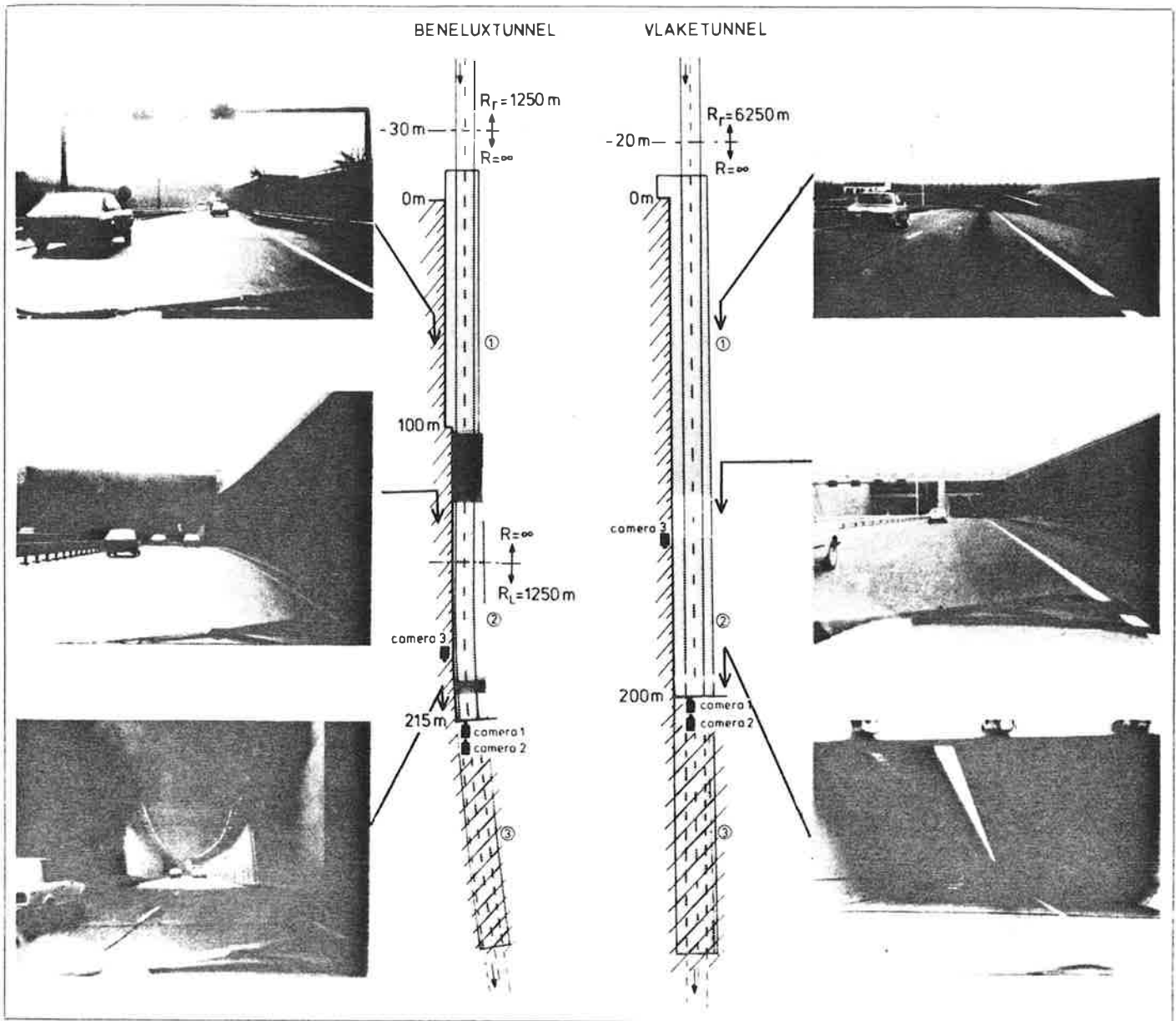
De probleemstelling van dit onderzoek spitst zich toe op de vraag in hoeverre het mogelijk is om de invloed aan te tonen van een dichtbijgelegen tunnelwand bij een tunnelingang op het verloop van de laterale positie van willekeurige voertuigen. Het probleem doet zich daarbij voor dat zo'n tunnelingang de bestuurder niet slechts confronteert met een tunnelwand op een beperkte laterale afstand, maar ook een groot aantal veranderingen in andere wegkenmerken met zich meebrengt: wijziging in verlichtingsomstandigheden, tunneldak,

bebording en signalering, helling, enz. Het effect van de tunnelwand is alleen aan te tonen indien een vergelijking kan worden gemaakt tussen twee tunnelingangen die uitsluitend verschillen in de vrije laterale afstand tussen rijstrookmarkering en tunnelwand en verder (zoveel mogelijk) in alle overige kenmerken identiek zijn. Indien aan deze eis niet voldaan kan worden is het onmogelijk om een eventueel gevonden effect eenduidig aan de dichtbijgelegen tunnelwand toe te schrijven.

3. Literatuurgegevens

Bij bestudering van literatuur over het rijgedrag nabij tunnelingangen valt op dat het merendeel zich concentreert op het aspect van de snelheidsregeling onder invloed van beperkingen in laterale afstand en/of in de hoogte, verlichtingsniveaus, verkeersborden, hellingen en boogstralen. Voor een korte bespreking van deze literatuur zij verwezen naar Blaauw en Van der Horst (1982). Met betrekking tot de koersregeling zijn enkele studies beschikbaar over het verloop van de laterale voertuigpositie bij het naderen van een tunnelingang (-wand). Kwalitatieve gegevens zijn bekend uit een IZF-onderzoek (Blaauw en Leebeek, 1974) naar het rijgedrag van automobilisten op de autosnelweg A4 bij het naderen en passeren van het aquaduct onder de ringvaart van de Haarlemmermeer. Video-opnamen toonden aan dat weggebruikers in de rechterrijstrook naar links uitwijken op het moment dat de vluchtstrook wordt onderbroken door de wand van het aquaduct. Een kwalitatieve boordeling van het kijkgedrag van automobilisten bij het naderen van de ingang van dit aquaduct zoals uitgevoerd als pilotstudie met de geïnstrumenteerde auto van het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, toonde aan dat bestuurders geen speciale aandacht gaven aan de geometrie van het (zeer korte) aquaduct en de ogen gericht hielden op het 'verdwijnpunt' van de weg bij de horizon. Narisada en Yoshikawa (1974) onderzochten het kijkgedrag van automobilisten bij het naderen van zeven langere tunnels in relatie tot de tunnelverlichting, en vonden over een weggedeelte van af 150 m voor de ingang een concentratie van oogposities op de tunnelingangen.

Selim en Josey (1978) leidden een mathematisch model af voor het berekenen van de laterale voertuigpositie in een rijstrook bij het passeren van een auto die in de vluchtstrook staat geparkeerd. Dit model voorspelt de laterale positie bij de gepar-



1. De geometrie en het vóóruitzicht voor autobestuurders op drie plaatsen in de Beneluxtunnel (links) en de Vlaketunnel (rechts). Tevens is de plaats aangegeven van de drie televisiecamera's.

Josey vormt hierop een uitzondering, maar het is de vraag in hoeverre het model bij lange tunnelwanden toegepast mag worden.

4. Uitvoering

4.1. Selectie van tunnels

Een beoordeling van de ingangen van 13 tunnels in Nederland toonde aan dat de geometrieën aanzienlijk van elkaar verschillen en dat het niet mogelijk was een volledig ideale experimentele opzet te realiseren waarbij de twee te onderzoeken tunnelingangen uitsluitend zouden verschillen in de vrije laterale afstand tussen rijstrook en tunnelwand. Uiteindelijk werd besloten een vergelijking uit te voeren tussen de noordelijke ingang van de Beneluxtunnel en de westelijke ingang van de Vlaketunnel (figuur 1). Bij beide tunnels vertoont het wegverloop op korte afstand voor het begin van de tunnelwand een flauwe boog naar rechts. Bij de Vlaketunnel ligt de overgang van de boog, met een straal van 6250 m, naar de rechtstand op circa 220 m voor het begin van het tunneldak. Bij de Beneluxtunnel ligt deze overgang op ongeveer 230 m voor het begin van het tunneldak; de kromtestraal van de boog bedraagt 1250 m. Er moest worden geaccepteerd dat de Bene-

luxtunnel een flauwe boog naar links ($R = 1250$ m) heeft vanaf circa 70 m voor de tunnelingang, terwijl dit weggedeelte bij de Vlaketunnel volledig recht is. De vrije laterale afstand tussen de rechterrijstrook en naastgelegen tunnelwand bedraagt bij de nadering van de Beneluxtunnel 4,05 m, maar loopt ongeveer 115 m voor de tunnelingang terug tot 0,80 m ten gevolge van het einde van de vluchtstrook. Bij de Vlaketunnel loopt de vluchtstrook door en over de gehele tunnallengte blijft de vrije afstand tussen rechterrijstrook en tunnelwand 4,05 m.

Beide tunnels maken deel uit van het landelijke autosnelwegnet en hebben, per tunnelbuis en rijrichting, twee rijstroken met een normale autosnelwegmarkering. De breedte van de rechterrijstrook bedraagt 3,30 m (Beneluxtunnel) respectievelijk 3,54 m (Vlaketunnel). In de tunnels geldt onder normale omstandigheden geen bijzondere snelheidsbeperking. In voorkomende situaties kan met op afstand instelbare signalering een snelheidsbeperking worden ingevoerd.

4.2. Meetmethode

In een reeds eerder op verzoek van de Dienst Verkeerskunde uitgebracht memo (Blaauw, 1979) werd een overzicht gegeven

keerde auto (of bij een willekeurig ander object) in relatie tot de weggeometrie, verkeerssamenstelling en snelheid, en de grootte van het object. Indien wordt verondersteld dat dit model ook kan worden toegepast voor langere objecten naast de rijstrook, kan een schatting worden gemaakt voor de voertuigposities bij een dichtbijgelegen tunnelwand. Voor een tunnelwand op circa 0,80 m rechts naast de rijstrookmarkering blijkt de voorspelde voertuigpositie in de rijstrook volgens het model circa 0,08 m meer naar links te liggen dan voor de overeenkomstige situatie met een tunnelwand op circa 4,00 m naast de rijstrookmarkering.

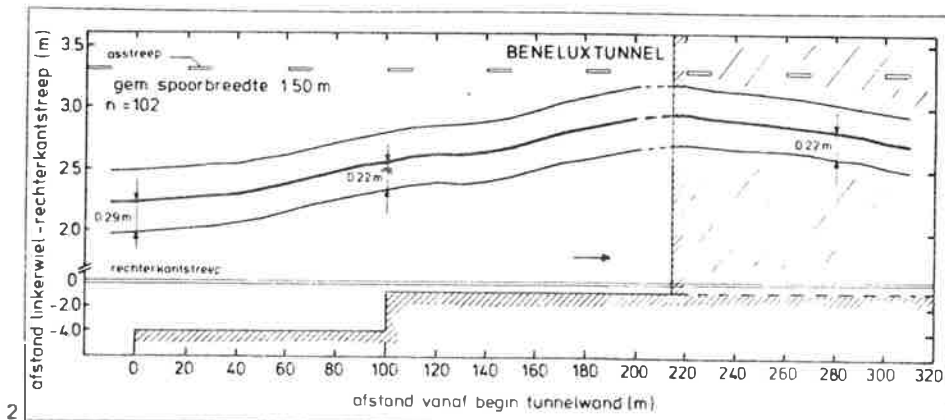
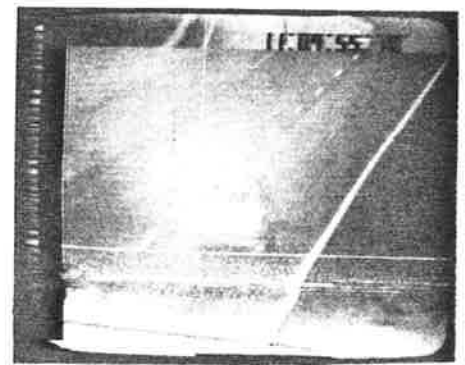
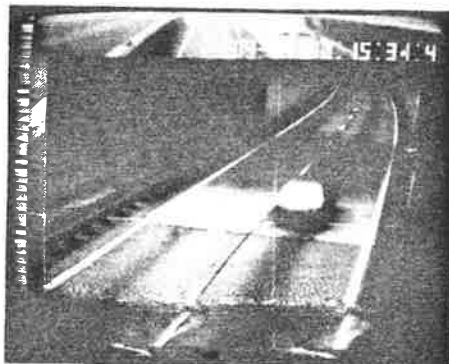
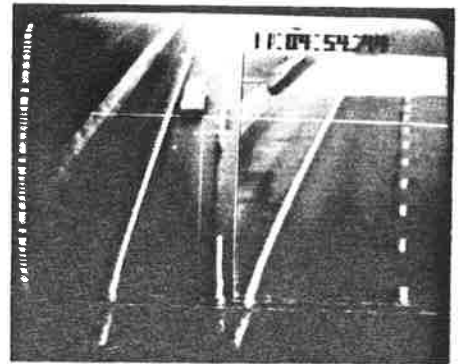
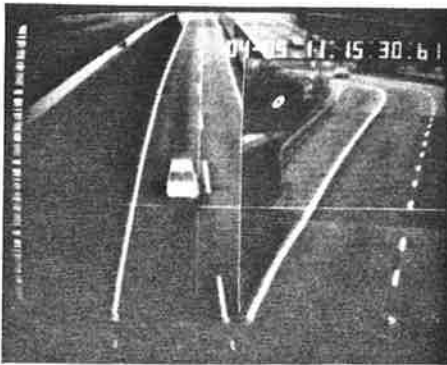
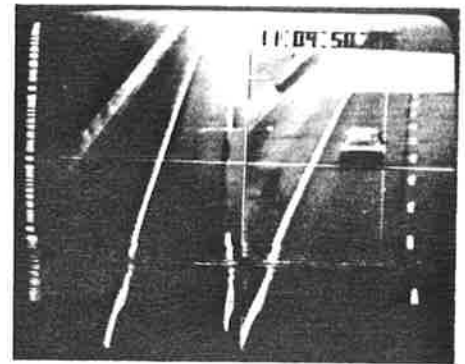
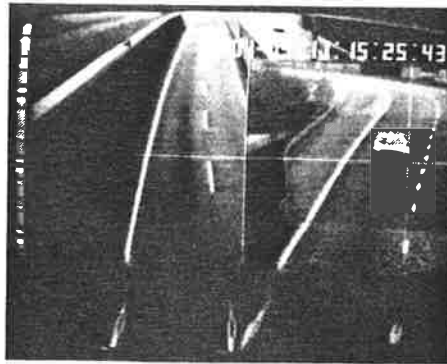
De literatuurgegevens samenvattend, kan worden geconcludeerd dat het rijgedrag in de omgeving van tunnelingangen en -wanden wel onderwerp van studie is geweest, maar dat de beschrijvingen zich concentreren op het verloop van de snelheid (of afstand tot een voorligger) en onvoldoende kwantitatieve gegevens opleveren over een eventueel verloop in de laterale voertuigpositie. Het model van Selim en

van enkele meetmethoden voor het vastleggen van laterale voertuigposities. Op grond van de in dit onderzoek geldende eisen (willekeurige weggebruikers, niet alleen vrijrijdende voertuigen, gedrag te relateren aan afstanden tot andere voertuigen en aan eigen snelheid, registratie over grotere weglengten) werd voor een registratie met video gekozen. Met deze techniek, inclusief de bijbehorende kwantitatieve uitwerkingen met een video-plotsysteem, was reeds eerder uitgebreid ervaring opgedaan (Van der Horst en Riemersma, 1981).

Als nieuw element echter moesten per tunnel m.b.v. drie videocamera's en twee videorecorders opnamen worden gemaakt om het van belang zijnde weggedeelte geheel te kunnen bestrijken (figuur 1 en 2). Het naderingstraject voor de tunnelingang werd bestreken door twee camera's die beide tegen de rijrichting in op het tunneldak boven de asstreek waren gemonteerd. De beelden werden gecombineerd opgenomen door één recorder. Het aldus opgenomen naderingstraject begon bij beide tunnels circa 230 m vóór de tunnelingang.

Een tweede recorder nam het beeld op van een derde camera die aansluitend het weggedeelte vanaf de ingang van elke tunnel tot ongeveer 100 m in de tunnel bestreek. Deze camera was gemonteerd op de wand buiten de tunnel en keek met het verkeer mee. Speciale zorg werd besteed aan een zo onopvallend mogelijke registratie: zo werden de televisiecamera's afgedekt en werd de meetwagen met de overige video-apparatuur uit het zicht van de weggebruikers neergezet.

De videobeelden van beide recorders werden van dezelfde digitale code voorzien ten behoeve van de latere verwerking met het video-plotsysteem. Bij de verwerking werd van langrijdende voertuigen het verloop van de laterale positie bepaald door



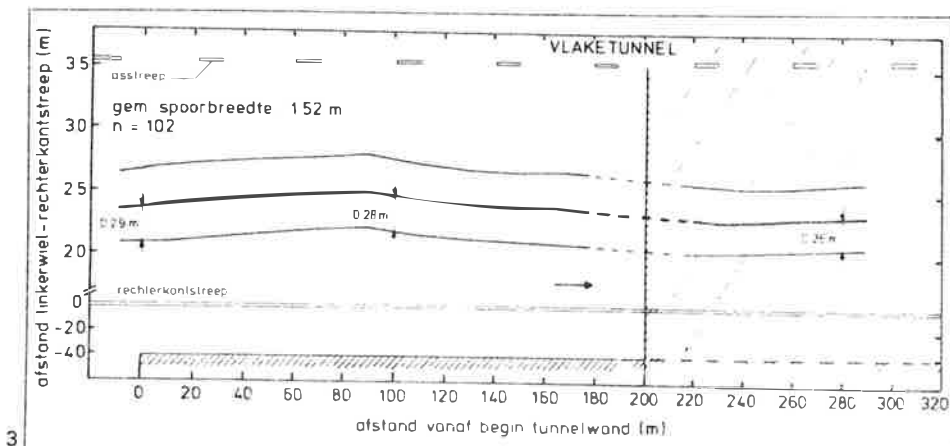
elke 0,24 s onder computerbesturing de juiste beeldcode op te zoeken en het beeld stilstaand op een monitor te presenteren. Met een stelsel elektronische kruisdraden konden vervolgens per beeld de posities worden bepaald aan de buitenkant van het linker- en rechtervoertuig (recorder 1) respectievelijk het linker- en rechterachterwiel (recorder 2) ten opzichte van de rijstrookmarkeringen; bij beide tunnels waren deze markeringen over een grote lengte goed zichtbaar. Naderhand werden de afstanden, zoals in het monitorvlak gemeten, via een transformatie omgerekend naar de afstanden in het wegvlak. De meetnauwkeurigheid was beter dan 0,04 m.

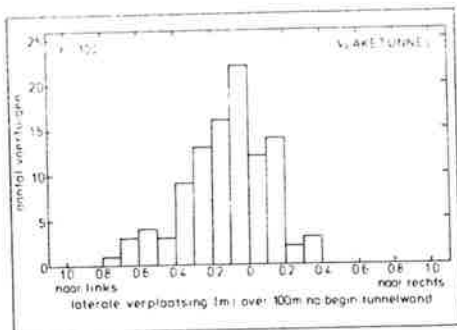
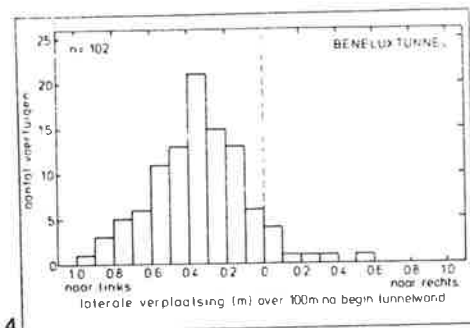
4.3. Opnamen

De video-opnamen werden bij de Benelux- en Vlaketunnel gemaakt op zondag 5 april, respectievelijk 12 april 1981 gedurende een aaneengesloten periode van 10.00-18.30 uur. Deze periode werd gekozen om verschillende verkeersdichtheden te registreren, inclusief een voldoende aantal vrij-

2. Video-opnamen bij de Beneluxtunnel (links) en Vlaketunnel (rechts).

3. Het verloop in de laterale posities (gemiddelde waarde met bijbehorende spreidingen) van 102 vrijrijdende personenwagens bij de ingang van de Benelux- en Vlaketunnel.





4. Verdeling van de individuele verplaatsingen van de vrijrijdende voertuigen over het weggedeelte 0-100 m bij de Benelux- en Vlaketunnel.

gehele weggedeelte.

Figuur 5 geeft de snelheidsverdelingen aan voor de 102 voertuigen per tunnel, als gemiddeld over het weggedeelte van 0-100 m. De snelheden bij de Beneluxtunnel liggen tussen 70 en 125 km/h ($V_{85} = 106$ km/h) en bij de Vlaketunnel tussen 75 en 155 km/h ($V_{85} = 118$ km/h). Beide snelheidsprofielen zijn normaal verdeeld.

Laterale verplaatsing en beginpositie in de rijstrook. Aangezien de laterale beginpositie van een voertuig in de rijstrook mede bepalend is voor de afstand van het voertuig tot aan de tunnelwand, is onderzocht in hoeverre de laterale verplaatsing ter plaatse van de doorsnede bij 100 m afhankelijk is van de beginpositie bij de doorsnede bij 0 m. Dit bleek bij beide tunnels het geval; de Pearson produkt-moment correlatiecoëfficiënt bedraagt bij de Beneluxtunnel 0,65 en bij de Vlaketunnel 0,44 (beide significant op het 0,5% niveau). De verplaatsingen, dy , van de voertuigen bij de vernauwing van de Beneluxtunnel kunnen worden voorspeld als functie van de beginpositie y (tussen linkerwiel en rechterkantstreep) volgens de bijbehorende regressieformule:

$$dy = -0,54 y + 1,55$$

Tabel 1 presenteert enkele verplaatsingen berekend volgens deze formule voor een aantal beginposities. Naarmate de voertuigen zich meer links in de rijstrook bevinden, keert de verplaatsing van richting om in verband met het naderen of overschrijden van de asstreep links van het voertuig.

Laterale verplaatsing en spoorbreedte voertuigen. De voertuigverplaatsingen bij de Beneluxtunnel blijken niet afhankelijk van de spoorbreedte van de voertuigen

TABEL 1

Berekende relatie tussen de voertuigverplaatsingen bij de vernauwing bij de Beneluxtunnel en de laterale beginpositie in de rijstrook op een doorsnede 100 m vóór de vernauwing.

Laterale afstand tussen linkerzijde voertuig en rechterkantstreep (m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Laterale voertuigverplaatsing (m)	1,01	0,74	0,47	0,21	-0,06	-0,33

rijdende voertuigen. De opnamen werden om twee redenen op zondag gemaakt. Enerzijds om het doordeweekse woon-werkverkeer uit te sluiten, dat mogelijk zo gewend is aan een specifieke tunnelgeometrie dat het geen bijzonder lateraal voertuiggedrag vertoont. Anderzijds is er op zondag nauwelijks of geen vrachtverkeer, en kunnen video-opnamen worden gemaakt zonder dat het zicht op een betrekkelijk groot wegvlak door een vrachtwagen wordt afgeschermd. Tijdens de opnamen bij de Beneluxtunnel was het droog en licht bewolkt. Bij de Vlaketunnel scheen de zon.

5. Resultaten

5.1. Vrijrijdende auto's

In elke tunnel werden allereerst 102 vrijrijdende personenauto's in de rechterrijstrook geanalyseerd. Een aantal van circa 100 auto's werd gekozen om een eventueel verschil van 0,10 m tussen de gemiddelde laterale posities bij beide tunnels significant te kunnen aantonen. Vrijrijdende auto's werden geselecteerd om interacties met ander verkeer uit te sluiten. Hierbij werden volgtijden groter dan 5 seconden als criterium gebruikt om auto's als vrijrijdend te definiëren; bovendien mocht de auto tijdens de tunnelnadering niet worden ingehaald, of zelf van rijstrook wisselen. Ten gevolge van de grote verkeersdichtheid bij de Beneluxtunnel was het niet mogelijk om bij de keuze van de vrijrijdende voertuigen een ruimer criterium voor de volgtijden te hanteren; bij de Vlaketunnel kon door de lage verkeersintensiteit royaal aan dit criterium worden voldaan. De geanalyseerde 102 personenauto's kwamen voor tussen 10.00 en 13.00 uur bij de Beneluxtunnel en tussen 10.00 en 11.00 uur bij de Vlaketunnel.

Gemiddeld verloop van de laterale voertuigposities. Figuur 3 presenteert voor de Benelux- en Vlaketunnel een weergave van het laterale voertuigverloop, gemiddeld over 102 vrijrijdende auto's met de daarbij behorende spreidingen. Bij de gegevens wordt uitgegaan van de positie van de linkerwielen ten opzichte van de rijstrookmarkering, omdat uit data van Summala en Merisalo (1978) en Hotop en Burger (1981) kan worden afgeleid dat de positie van de linkerwielen op een eenduidiger wijze is gekoppeld aan de weggeometrie dan de positie van de rechterwielen waarin een aanzienlijke spreiding van de verschillen in voertuigbreedtes blijkt te zijn vertegen-

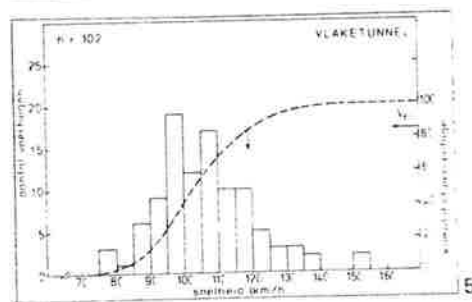
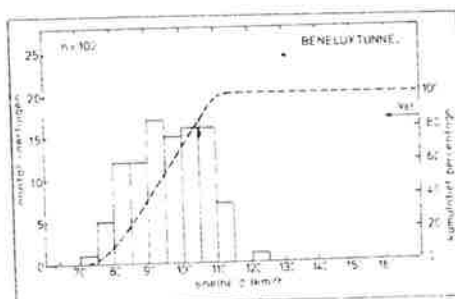
woordigd.

Als systematisch effect treedt bij de Beneluxtunnel een vrijwel monotone toename op in de afstand tot aan de rechterkantstreep, zowel in het gebied vóór als ná de vernauwing. Uit de verdere toename ná de vernauwing blijkt de gecombineerde invloed van de wand met de na de vernauwing in het wegtraject aanwezige flauwe linkerboog. De maximum verplaatsing van 0,70 m treedt op 120 m na de plotselinge vernauwing, ter plaatse van de ingang van de tunnel. Bij de Vlaketunnel (controleconditie) treedt alleen bij het begin van de tunnelwand een kleine verschuiving naar links op. In tegenstelling tot de Beneluxtunnel keert deze verschuiving van richting om en bereikt, nog voor het begin van de tunnel, de oorspronkelijke gemiddelde waarde van de voertuigposities.

Naast de systematische verschuiving naar links blijkt bij de Beneluxtunnel de spreiding over de 102 voertuigposities (figuur 3) per dwarsdoorsnede af te nemen naar de vernauwing toe. Op de doorsnede 100 m voor de vernauwing bedraagt de spreiding 0,29 m en bij de vernauwing zelf en verderop 0,22 m. Bij de Vlaketunnel zijn deze waarden op het vergelijkbare weggedeelte 200 m en 100 m voor de ingang vrijwel constant: 0,29 m respectievelijk 0,28 m, en 0,26 m na de tunnelingang. De vermindering van de spreiding geeft aan dat de vernauwing bij de Beneluxtunnel de bestuurders kennelijk dwingt tot een consistentere padkeuze.

Figuur 4 presenteert de verdeling van de individuele laterale voertuigverplaatsingen bij de vernauwing van de beschikbare ruimte bij de Beneluxtunnel ten opzichte van de posities 100 m stroomopwaarts, met de gegevens voor de voertuigverplaatsingen over het vergelijkbare weggedeelte (0-100 m) bij de Vlaketunnel. De verplaatsingen kunnen beide beschreven worden met een normaal verdeelde verdelingsfunctie.

Snelheid. De gemiddelde snelheid van de vrijrijdende auto's bij de Beneluxtunnel neemt in geringe mate toe, van circa 96 km/h 100 m voor de vernauwing tot ongeveer 106 km/h aan het einde van het geobserveerde weggedeelte. Bij de Vlaketunnel is de snelheid constant (106 km/h) over het



5. Verdeling van de voertuigsnelheden bij de nadering van de Benelux- en Vlaketunnel; voor de berekening van de V_{85} snelheid is tevens de cumulatieve verdeling bepaald (zie rechter kaderlijn).

(hier gedefinieerd als de gemeten afstand tussen de buitenkanten van de banden): correlatiecoëfficiënt $r = 0,07$. Daaruit kan worden geconcludeerd dat bestuurders van smalle en brede auto's ongeveer in dezelfde mate worden beïnvloed door de tunnelwand en op gelijke wijze uitwijken. Bij de Vlaketunnel daarentegen blijkt een lichte negatieve correlatie ($r = 0,24$; significant op het 1% niveau): brede auto's wijken in mindere mate naar links uit dan smalle auto's. In beide tunnels is een significante positieve correlatie (op het 0,5% niveau) aanwezig tussen de spoorbreedte en snelheid (Beneluxtunnel $r = 0,31$; Vlaketunnel $r = 0,35$): in beide tunnels rijden bestuurders van bredere auto's sneller.

5.2. Niet-vrijrijdende voertuigen

De vrijrijdende voertuigen vertoonden bij de Beneluxtunnel een systematische toename in de afstand tussen de auto en rechterkantstreep voor en na de plotselinge vernauwing van het tunnelprofiel. De toename in afstand na de vernauwing werd, naast een effect van de vernauwing zelf, mogelijk voor een deel veroorzaakt door de flauwe linkerboog in het tunneltracé.

In een poging het effect van de linkerboog op de voertuigverplaatsingen te evalueren, is een aanvullende analyse verricht van het koersgedrag van niet-vrijrijdende auto's, d.w.z. auto's in een verkeersstroom. Bestuurders van dergelijke auto's hebben minder vóóruitzicht tengevolge van de aanwezigheid van één of meer voorliggers en kunnen daardoor in hun padkeuze minder gemakkelijk dan de bestuurders van vrijrijdende voertuigen anticiperen op de nadering van een boog. Het koersgedrag van deze automobilisten maakt dan een boogeffect minder duidelijk en leidt tot een meer expliciet wandeffect.

Uit de aanvullende analyse bleek echter duidelijk dat de niet-vrijrijdende voertuigen een vrijwel identiek koersgedrag vertonen als de vrijrijdende auto's. Als klein verschil komt wel naar voren dat de niet-vrijrijdende voertuigen op grote afstand voor de tunnelingang met een iets kleinere variatie in laterale positie rijden dan de vrijrijdende voertuigen (0,25 m respectievelijk 0,29 m). Het snelheidsverloop van beide categorieën voertuigen is eveneens vergelijkbaar, alhoewel de niet-vrijrijdende auto's gemiddeld circa 10 km/h langzamer rijden dan de vrijrijdende auto's.

6. Discussie

Autobestuurders gaan significant naar links tengevolge van een nabijgelegen tunnelwand aan de rechterkant, en vertonen minder variaties in hun koersgedrag. Bij de nadering van de Beneluxtunnel met de onderbroken vluchtstrook en de plotselinge afname in de vrije afstand tussen rijstrook en rechterside tunnelwand van 4,05 m tot 0,80 m bleek een gemiddelde verschuiving van 0,33 m op te treden ter plaatse van de vernauwing. Daarna nam deze verschuiving zelfs nog toe tot 0,70 m ter plaatse van de tunnelingang. Dit koersverloop bleek identiek voor zowel vrijrijdende als niet-vrijrijdende auto's. Bij de Vlaketunnel, met een niet onderbroken vluchtstrook en daardoor over de gehele tunnellingte een constante vrije afstand van 4,05 m tussen rijstrook en tunnelwand, bleek dat automobilisten geen

systematische verschuiving in positie vertoonden.

Als opvallend resultaat komt naar voren dat de maximale verschuiving van 0,70 m bij de Beneluxtunnel juist optreedt ter plaatse van de tunnelingang, bij het bekende zwarte gat. Dit zwarte gat introduceert bij automobilisten een onzekerheid over de werkelijk beschikbare vrije afstand tot de tunnelwand. Om de invloed van die onzekerheid te verminderen kiezen bestuurders kennelijk voor een dusdanig koersgedrag dat op die plaats een vrijwel maximale vrije laterale afstand tot de muur wordt ingesteld. Na de tunnelingang verdwijnt het 'zwarte-gat'-effect en kunnen het tunnelverloop en de nabijgelegen tunnelwand weer goed worden waargenomen. Deze betere omstandigheden zorgen ervoor dat de automobilisten weer dicht bij de tunnelwand gaan rijden. De uiteindelijke minimale afstand werd nog niet bereikt binnen 100 m na de tunnelingang.

Zoals in de inleiding is vermeld, vormt deze studie een Nederlandse bijdrage aan het werk van de werkgroep 'Traffic and Geometry' van het Road Tunnels Committee van PIARC. Tijdens het onderzoek kwamen de resultaten van twee andere bijdragen ter beschikking. Lingelser (1980) presenteerde gegevens over laterale posities, snelheden, volgfstanden, verkeersintensiteiten en -dichtheden in een tunnel te Parijs. Omdat de metingen slechts op één plaats in de tunnel zijn uitgevoerd (weliswaar voor ruim 194 000 voertuigen) ontbreken uiteraard gegevens over het verloop van de voertuigposities en is een vergelijking met de resultaten in de Benelux- en Vlaketunnel niet mogelijk.

Gegevens over het koersverloop zijn wel beschikbaar uit metingen die zijn uitgevoerd in de Elbetunnel te Hamburg (Hotop en Burger, 1981). In deze tunnel werden laterale posities en snelheden gemeten op diverse lokaties in het naderingsgedeelte van de tunnel en in de tunnel zelf, een en ander in relatie tot de aanwezigheid van personenwagens en vrachtwagens in dezelfde en naastgelegen rijstroken. De resultaten werden eveneens vergeleken met data voor wegen buiten tunneltracés. Het effect van een plotselinge vernauwing van het dwarsprofiel werd in de Elbetunnel bepaald voor personenauto's in de linkerrijstrook, in relatie tot de linkertunnelwand op een afstand van 0,75 m links van de strook. Ter plaatse van de vernauwing vertoonden vrijrijdende auto's een uitwijking van circa 0,24 m. In de tunnel zelf blijkt deze uitwijking met circa 0,10 m te zijn vermindert.

In vergelijking met het koersgedrag van vrijrijdende auto's op wegen buiten tunneltracés, bleken de bestuurders in de linkerrijstrook van het tunneltraject 0,22 m meer naar links te rijden. De auteurs suggereren dat dit een gevolg kan zijn van de nadrukkelijke geleidingsinformatie die de linkerwand biedt ('Leithilfe'). Als gevolg van de asymmetrische positie van de bestuurder in een auto, kunnen bestuurders beter vrije afstanden tussen de auto en een linkerbegrenzing schatten dan vrije afstanden tussen hun auto en een rechterbegrenzing.

Overigens konden geen verschillen worden aangetoond in het koersgedrag van automobilisten in de verkeersstrook van een tunnel ten opzichte van een weg buiten

een tunneltracé met een overeenkomstige vrije afstand tussen strook en berm. Indien een vluchtstrook aanwezig is, schuiven auto's in de rechterrijstrook echter circa 0,30-0,40 m naar rechts.

Het bovenbeschreven onderzoek leidt nu tot de volgende conclusies ten aanzien van het tunnelontwerp:

- het naderingsgedeelte vlak voor de tunnelingang dient vloeiend vorm gegeven te worden zonder plotselinge vernauwingen.
- Het zicht op het wegverloop (markering) in de tunnel moet goed zijn om onzekerheid ten aanzien van de beschikbare manoeuvreerruimte te voorkomen.
- De rijstroken dienen voldoende breed (3,30-3,60 m) te zijn om ongewenste beïnvloeding tussen elkaar passerende voertuigen te voorkomen en om de rijomstandigheden voor vrachtwagens te verbeteren.

7. Naschrift

In het kader van eerdergenoemde PIARC-werkgroep werd naast de dwarspositie-metingen ook aandacht besteed aan een aantal andere aspecten (zie inleiding). Hierna volgt een samenvatting van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

Met betrekking tot de **capaciteit** van wegen in tunnels is onderzocht of er een relatie bestaat tussen de berekende capaciteit volgens de Highway Capacity Manual (HCM) 1965 en de waargenomen hoogste intensiteiten.

- Voor 2×2 strooks autosnelwegtunnels kan een goede indicatie voor de capaciteit worden verkregen door de uitkomst van de HCM-berekening te vermenigvuldigen met een factor 1,5. Dit geldt voor autosnelwegtunnels met hoofdzakelijk woon-werkverkeer (Wenen, 1979).
- Voor 2×1 strooks tunnels (tweerichtingverkeer) blijkt er geen consistent verband te bestaan. Als enige indicatie komt naar voren dat de HCM het effect van hellingen te zwaar weegt. Bij tunnels met lange of steile hellingen is de discrepantie tussen de HCM-waarden en de waargenomen hoogste intensiteiten dan ook erg groot.
- Tunnels met uitgebreide verkeersbeheersingsmaatregelen kunnen in spitsuren zeer hoge intensiteiten verwerken.

Met betrekking tot de **verkeersveiligheid** van tunnels is ondermeer onderzocht of tunnels met 2×2 rijstroken veiliger zijn dan tunnels met 1×2 rijstroken, zoals voor wegen in de open lucht geldt. Er is geen sterke aanwijzing gevonden die deze stelling onderbouwt.

Ten aanzien van de 2×2 -strooks (autosnelweg)tunnels blijkt internationaal een grote variatie in de veiligheid te bestaan. Als we iets zouden willen concluderen betreft dit de grote onveiligheid van tunnels met steile hellingen en scherpe bogen, die bovendien in een stedelijke omgeving liggen. Relatief veilige tunnels hebben overigens vaak hoge intensiteiten met een zeer groot aandeel regelmatiggebruikers (woon-werkverkeer).

Bovengenoemde resultaten geven aan dat nader onderzoek wenselijk is naar ongevallen, verkeersafwikkeling, tunnelgeome-

dat de 'Brede Opzet' alle gegevens keurig rangschikt en print.

IBM PC

In de dienstroosters – die dus op het hoofdkantoor van Westnederland worden gemaakt – is voorgeprogrammeerd welke chauffeurs de dagelijkse ritten moeten rijden. In principe ligt dit voor een jaar vast. Aan de hand van dit rooster wordt op de vestigingen van de maatschappij (zeven in totaal) iedere dag de zogenaamde dagdienst ingedeeld, rekening houdend met ziekte, verlof, enz. Ook dat geschiedt handmatig. Op één kleine uitzondering na, want op een van de vestigingen is een hobbyist op het idee gekomen dat je met een kleine micro die zaak in ieder geval gedeeltelijk kunt automatiseren. Een teken aan de wand?

Plesman: 'Je moet bij dit soort zaken natuurlijk uitkijken voor wildgroei. Met name de ESO is daar bang voor, en dus wil men een en ander zoveel mogelijk standaardiseren. Maar als de standaard heilig wordt, bijna doel op zich, werkt dat natuurlijk wel remmend op de ontwikkeling.' Toch komt er langzamerhand wel wat schot in de zaak. Binnen de ESO is een werkgroep bezig om

de mogelijkheden te bezien om te komen tot een automatisering van de dagindeling. Centraal staat daarbij de vraag of de vestigingspunten moeten worden voorzien van een terminal met aansluiting op de grote computer, of van een zelfstandig systeem. De keuze zal vermoedelijk vallen op de zelfstandige microcomputer. Vooruitlopend daarop heeft men bij Westnederland onlangs een IBM PC aangekocht. Dirks: waarschijnlijk zijn wij de eersten die officieel een microcomputer in huis hebben, hoewel er op andere plaatsen kennelijk al wel een enkele microcomputer is 'binnengesmokkeld'.

Vooralsnog is het de bedoeling dat de PC – behalve voor de dagdienstindeling – zal worden ingezet bij de zogenaamde controleursadministratie en de (bus)onderdele-administratie. De benodigde software moet echter nog worden ontwikkeld. Voorwaarde daarbij is dat de resultaten kunnen worden teruggekoppeld naar het administratieve pakket van de IBM 34 zodat de begrote uitgaven, die worden afgeleid uit de dienstregeling, kunnen worden vergeleken met de werkelijke uitgaven, die worden afgeleid uit de dagdienstindeling.

Vervoeronderzoeken worden door Westnederland gewoonlijk uitbesteed aan adviesbureaus. 'We hebben de mogelijkhe-

den niet om dergelijke onderzoeken volledig in eigen beheer uit te voeren. De toepassing van een (micro)computer voor vervoerstudies is dan ook niet aan de orde. Wel zou de microcomputer kunnen worden ingezet om makkelijker toegang te hebben tot allerlei cijfermateriaal. De gegevens van de regelmatig gehouden passagierstellingen zijn opgeslagen bij het Centrum voor Informatieverwerking. Als je bijvoorbeeld even wil zien wat de bezetting was van een bepaalde lijn in een bepaalde periode, moet je de gegevens speciaal opvragen dan wel gaan zoeken in een grote stapel output. Dat kan wellicht eenvoudiger', aldus Plesman.

Al met al kunnen we constateren dat er dus kennelijk wel een markt bestaat voor de microcomputer in de openbaar-vervoersector, zij het dat men daarbij wel duidelijk de beperkingen van het apparaat in het oog dient te houden.

Slot van 'Grondgebruik en grondkosten van het autosysteem' (blz. 317)

te kunnen anticiperen op de eventueel terugloop van het autobezit en -gebruik en een groeiende behoefte aan andere verkeers- en vervoerwijzen in de huidige periode van structurele inkomensdaling.

Literatuur

1. Ommekeer in het verkeer, bijvoorbeeld Schagen, OD 205, 1976; onderzoek in opdracht van N.V. Nederlandse Spoorwegen.
2. De weg naar het station, ontwerp-ideeën voor langzaamverkeersroutes, J. Wittenberg, 1980, Vakgroep Planologie en Stedebouwkunde, afdeling Bouwkunde T.H.-Delft.

3. Verplaatsingsgedrag en de keuze van woon- en werkrelaties in een periode van economische recessie, B. van der Hee, Verkeerskundige Werkdagen 1983.
4. Verkeers- en vervoersvoorzieningen in stedenbouwkundige plannen, deel 1 Parkeernormen c.a. in woongebieden, januari 1981, Kuiper Compagnons B.V., in opdracht van N.V. Nederlandse Spoorwegen.
5. Zie onder andere: 'Grondkosten in bestemmingsplannen', Stichting voor Economisch Onderzoek, Universiteit van Amsterdam en gegevens van plannen van Kuiper Compagnons B.V.
6. S. de Jong, Moderne auto's gaan langer mee, speciale uitgave Rai Actueel, 22 december 1982.
7. Verkeer en vervoer in Denemarken in een periode van economische recessie, indicatie voor Nederland, B. van der Hee, J. Golob-Garden, Projectbureau Integrale

Verkeers- en Vervoersstudies, 's-Gravenhage, bijdrage Planologische Discussiedagen 1983.

8. Autobezit versus openbaar vervoer en klantenvoorzieningen, Haskoning, 1980; onderzoek in opdracht van N.V. Nederlandse Spoorwegen. Verkeerskunde 34 (1983) nr. 11.
9. Wonen zonder auto, Marianne Hartzuiker, doctoraalscriptie Vrije Universiteit Amsterdam, Plan 12/1983.

Slot van 'Automobilisten wijken uit voor een nabijgelegen tunnelwand' (blz. 334)

trie en beheersingsmaatregelen zodat betere oorzakelijke verbanden kunnen worden gelegd tussen deze factoren. Op grond van dit onderzoek zullen internationale aanbevelingen kunnen worden opgesteld met betrekking tot ondermeer de toepassing van vluchtstroken en de benodigde capaciteit van het ventilatiesysteem onder capaciteitsomstandigheden. Het effect van moderne verkeersbeheersingsmaatregelen zal hierbij in de beschouwingen worden betrokken.

Literatuur

- Blaauw, G. J. en Leebeek, H. J. (1974). Verkeersvoorzieningen bij het aquadukt in Rijksweg 4. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, Memo IZF juni 1974.

- Blaauw, G. J. (1979). Het meten van de laterale positie van voertuigen op de weg: een inventarisatie van de bij IZF-TNO beschikbare meetmethoden. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, Memo IZF 1979-M29.
- Blaauw, G. J. en Van der Horst, A. R. A. (1982). Lateral positioning behaviour of car drivers near tunnel walls, Final report. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, Rapport Nr. IZF 1982 C-30.
- Horst, A. R. A. van der, en Riemersma, J. B. J. (1981). Registration of traffic conflicts: Methodology and practical implications. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, Rapport Nr. IZF 1981 C-22.
- Hotop, R. en Burger, W. (1981). Untersuchung des Verkehrsablaufes im Bereich des Hamburger Elbtunnels. Bundesanstalt für Strassenwesen, Köln. Rapport F.A 3.079 877A, april 1981.
- Lingelser, S. (1980). Fiche de recherche, trafic, tunnel des Tuileries, Ministère des Transports, Centre d'Etudes des Tunnels C.E.Tu.
- Narisada, K. en Yoshikawa, K. (1974). Tunnel entrance lighting effect of fixation point and other factors on the determination of requirements. Lighting Research and Technology, Vol. 6, no. 1, 9-18.
- Selim, A. A. en Josey, J. L. (1978). Mathematical models that describe lateral displacement phenomena. Transportation Research Record 621, 92-94.
- Summala, H. en Mersalo, A. (1978). Measuring the lateral position of vehicles on the road: System and preliminary results. Traffic Engineering and Control, juli, 328-330.