

Het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken

een onderzoeksopzet

Hoofdrapport

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Adviesdienst Verkeer en Vervoer

De Adviesdienst Verkeer en Vervoer AVV
is één van de specialistische diensten
van het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
van het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

De dienst werkt voor het ministerie en in opdracht daarvan
ook voor andere overheden.

AVV zorgt voor deskundige en tijdige inbreng van kennis
bij de ontwikkeling en uitvoering van het rijksbeleid
voor het verplaatsen van personen en goederen.

Bestellen

Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Service Desk
telefoon 045-560 52 00

Uitlenen van rapporten

Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Bibliotheek
telefoon 010-282 56 08

Internet www.rws-avv.nl

Het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken

een onderzoeksopzet

hoofdrapport

Jeroen Bosch

Rotterdam, 29 juni 2000

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Adviesdienst Verkeer en Vervoer

en

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen

Sectie Verkeerskunde

Voorwoord

Voor u ligt een scriptie, welke het eindproduct is van het afstudeerproject van de opleiding Civiele Techniek. Met het afronden van het afstudeerproject, wordt tevens de 5-jarige opleiding Civiele Techniek afgerond. Het project betrof een opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer te Rotterdam voor het opzetten van een onderzoek naar het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen. Deze opdracht is uitgevoerd binnen het project "Dynamische Rijbaanindeling".

In deze scriptie is aandacht besteed aan de ontbrekende gegevens voor het beschrijven van het rij- en inhaalgedrag in het bestuurdersmodel van MIXIC, de methodes om de ontbrekende gegevens in te winnen en het uitvoeren (van een deel) van één van de twee voorgestelde methodes.

Gedurende de afgelopen 8 maanden is bij de Adviesdienst Verkeer en Vervoer aan de opdracht gewerkt. Gedurende deze maanden ben ik begeleid door Hein Botma, Huib Kwint, Henk Schuurman en Henk van Zuylen. Zij worden bedankt voor de inzet die heeft bijgedragen aan de totstandkoming van deze scriptie.

Verder wil ik dhr. D.E. Helleman en J. Matton van de AVV bedanken voor het leveren van nuttige informatie voor deze opdracht.

Ook wil ik dhr. J.H. Hogema van TNO Technische Menskunde bedanken voor het geheel op vrijwillige basis bekritiseren van de tekst met betrekking tot de onderzoeksopzet met de rijsimulator.

Als laatste wil ik dhr. C.M. Landman en dhr. P. van der Vlist bedanken voor de hulp bij het maken van de videobeelden, die nodig waren voor het uitvoeren van een deel van het voorgestelde onderzoek, en voor het beschikbaar stellen van het softwarepakket ViVAtraffic, waarmee de videobeelden zijn uitgelezen.

Rotterdam,
22 mei 2000,
Jeroen Bosch.

Samenvatting

Een nieuwe maatregel om de verkeersprestatie op bepaalde delen van het autosnelwegennet gedurende de spitsuren aanzienlijk te verbeteren is de 'dynamische rijbaanindeling'. Bij deze maatregel heeft het verkeer bij lage dichtheden (buiten de spitsuren) de beschikking over twee of drie rijstroken met een standaard breedte. Terwijl het verkeer bij hoge dichtheden (tijdens de spitsuren) kan beschikken over respectievelijk drie of vier versmalde rijstroken, waarbij de vluchtstrook in zijn huidige vorm behouden blijft.

Bij het uitwerken van het concept van de dynamische rijbaanindeling is op een aantal problemen gestuit. Één daarvan is het bestaan van onduidelijkheid wat betreft de effecten van versmalde rijstroken op de verkeersafwikkeling. Dit is onder andere geconstateerd na het uitvoeren van een verkennende simulatiestudie met een aangepaste versie van het microscopisch simulatiemodel MIXIC. In deze versie is geprobeerd het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken te modelleren. Door een gebrek aan kwantitatieve gegevens is dit nog onvoldoende mogelijk gebleken.

In deze scriptie is nagegaan welke gegevens nog ontbreken, opdat het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen adequaat beschreven kan worden. Tevens is nagegaan op welke wijze deze ontbrekende gegevens dan verkregen kunnen worden.

Hiertoe is eerst de aangepaste versie van MIXIC kritisch beschouwd. Op basis hiervan is een indruk verkregen van de aspecten, die bij het beschrijven van het rij- en inhaalgedrag van belang worden geacht, en de gegevens, die voor het beschrijven van de aspecten noodzakelijk zijn. Tevens wordt duidelijk, welke (kwantitatieve) gegevens nog ontbreken. Een hierop volgende (aanvullende) literatuurstudie heeft nauwelijks nieuwe (kwantitatieve) gegevens opgeleverd. Wel is in de studie kwalitatieve informatie over de ontbrekende gegevens gevonden. Daarnaast is ook informatie gevonden over andere aspecten, die bij het beschrijven van het rij- en inhaalgedrag van belang kunnen zijn.

Met de reeds verkregen kennis over het inhaalgedrag is een model opgesteld, dat het keuzeprocess beschrijft om een inhaalmanoeuvre al dan niet uit te voeren. Het 'inhalen' is hiermee te midden van processen als 'volgen' en 'strookwisselen' geplaatst. Vervolgens is een model opgesteld dat de acties van een bestuurder tijdens de passeermanoeuvre beschrijft. De bestuurder van het passerende voertuig beschouwt in dit tweede model, afhankelijk van de rijstrook waarin hij zich bevindt, de voertuigen en de vaste objecten, die zich binnen een zekere longitudinale afstand van het voertuig bevinden. Bij het uitvoeren van de inhaalmanoeuvre neemt de bestuurder beslissingen over de positie en snelheid van zijn voertuig.

Op basis van de tot nu toe verzamelde kennis met MIXIC, de literatuur en de opgestelde modellen is een definitieve lijst van ontbrekende gegevens opgesteld. Deze gegevens hebben onder meer betrekking op de laterale posities van de voertuigen binnen hun rijstrook onder invloed van zowel bewegende als vaste objecten, de (minimale) laterale afstanden indien de voertuigen naast elkaar rijden, en de invloed van de verschillende voertuigkenmerken van de bij de passeermanoeuvre betrokken voertuigen.

Vervolgens is nagegaan op welke wijze de gegevens verkregen kunnen worden. Daartoe zijn de meetinstrumenten video-observatie, Differential Global Positioning System (DGPS), een geïnstrumenteerd voertuig en een rijsimulator onderling vergeleken.

Uiteindelijk is voor de instrumenten video-observatie en rijsimulator gekozen. Met het

eerste instrument worden de bestuurders nauwelijks beïnvloed, en kunnen relatief eenvoudig en goedkoop veel waarnemingen worden gedaan, waardoor veel gegevens van met name de posities van de voertuigen verkregen kunnen worden. Met het tweede instrument kunnen de verschillende aspecten afzonderlijk onderzocht worden, waardoor een gedetailleerd beeld van het verloop van de passeermanoeuvre in termen van positie en snelheid wordt verkregen.

Het gebruik van deze instrumenten is in twee afzonderlijke methodes beschreven. Met de video-observatie wordt op verschillende locaties beeldmateriaal van verschillende combinaties van voertuigen en vaste objecten verzameld. Met behulp van bijvoorbeeld een softwarepakket kunnen de laterale posities van de voertuigen uit de beelden worden uitgelezen.

Met een rijsimulator wordt in opeenvolgende fasen een gedetailleerd beeld gevormd van de passeermanoeuvre zoals bestuurders deze uitvoeren. Een aantal proefpersonen wordt daarbij in de rijsimulator met diverse situaties geconfronteerd. Uit de geregistreerde data worden vervolgens de gewenste gegevens bepaald.

Wanneer beide instrumenten gebruikt worden zoals in de afzonderlijke meetmethodes is beschreven, worden de ontbrekende gegevens verkregen, die bij het modelleren van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen nodig geacht worden.

Na het uitvoeren van een deel van het onderzoek met de video-observatie voor een locatie met brede rijstroken zonder invloed van een vast object (A2) en een locatie met smalle rijstroken met invloed van een vast object (A12) blijkt, dat zowel andere voertuigen als vast objecten als de afstand tussen een vast object en de rijbaan van invloed zijn op de laterale posities van voertuigen. Het effect van een vast object is daarbij beduidend kleiner dan van een ander voertuig. Tussen voertuigen onderling is het effect van een vrachtwagen op de laterale positie van een personenauto groter dan van een andere personenauto. Wat de verdeling van de laterale posities binnen de rijstrook betreft, blijkt deze in alle situaties Normaal te zijn.

Om een uitspraak te kunnen doen over het afzonderlijke kwantitatieve effect van de breedte van rijstrook en een vast object op de laterale posities, moet een derde meting bij smalle rijstroken zonder invloed van een vast object worden gedaan (A27).

Summary

A new measure to improve the traffic performance on particular network parts of motorways during the peak periods substantially, is the 'dynamic carriageway'. This means that there are two or three lanes available for low-density traffic and three or four lanes for high-density traffic, while maintaining the emergency lane.

A number of problems arose during the research for the 'dynamic carriageway'. One of them is the lack of clarity about the impacts of narrow lanes on the traffic flow. This is observed in an exploring simulation study with an extended version of the microscopic simulation model MIXIC. This version tries to model the driving and overtaking behaviour on narrow lanes. Because of the lack of quantitative data this proved to be impossible so far.

This thesis shows what data is still missing in order to describe the driving and overtaking behaviour on narrow lanes of motorways effectively. At the same time a check is performed how missing data could be collected.

First of all the extended version of MIXIC is closely examined. On basis of this an impression is obtained of the aspects which are considered to be of importance for describing the driving and overtaking behaviour. Also an impression is obtained of the data which is of importance to describe these aspects. In addition it becomes clear what (quantitative) data is still missing.

An additional literature study did hardly yield new (quantitative) data. Nevertheless this study presents some quality information about the missing data. Besides, there is also information presented about other aspects that could be useful to describe the driving and overtaking behaviour.

With the obtained knowledge about the overtaking behaviour a model is designed, which describes the choice of a driver whether he executes an overtaking manoeuvre or not. As a result 'overtaking' has been placed into perspective with the processes 'car-following' and 'lane-changing'. After that a model is designed which describes the actions of a driver during a passing manoeuvre. In this second model the driver of the passing vehicle considers, depending on the lane in which he drives, the vehicles and the fixed objects, which are located within a certain longitudinal distance of the passing vehicle. While executing the passing manoeuvre the driver takes decisions about the position and speed of his vehicle.

On basis of the collected knowledge of MIXIC, literature and models so far, a definitive list of missing data is formed. This data relates, amongst other things, to the positions of the vehicles within their lane in relation to moving and fixed objects. It also relates to the (minimal) lateral distances in case the vehicles drive next to each other and the influence of the different characteristics of the vehicles that are involved in the passing manoeuvre.

To determine how the necessary data can be collected a comparison is made between a number of instruments. These instruments are a video-observation, the Differential Global Positioning System, an instrumented vehicle and a driving simulator. Finally the instruments video-observation and driving simulator are chosen. With the first instrument drivers are hardly influenced and many observations can be made relative easy and cheap. This way a large quantity of data can be collected about the lateral positions of the vehicles. With the second instrument several aspects can be examined separately, which

shows a detailed picture of the course of the passing manoeuvre in terms of position and speed.

The use of these instruments is described in two separated methods. Video-observation can be performed on several locations and collects pictures of different combinations of vehicles and fixed objects. Aided by for instance a software package the lateral positions of the vehicles can be determined from the pictures.

In successive phases the overtaking manoeuvre can be examined and visualised in detail by a driving simulator. A number of subjects are for that confronted with various situations. Analysis of the recorded data may result in a collection of desired data.

If both instruments are used as described, the missing data can be obtained. From this point forward the driving and overtaking behaviour on narrow lanes of motorways can be modelled and validated.

After carrying out a part of the research by video-observation on a location with lanes of normal width without the influence of a fixed object (motorway A2) and another part on a location with narrow lanes with the influence of a fixed object (motorway A12), the results show that the lateral position of vehicles is influenced by other vehicles as well as fixed objects as the distance between a fixed object and the roadway. The effect of a fixed object on a vehicle is considerably less than the effect of other vehicles. The effect of one vehicle on the lateral position of another vehicle differs; two passenger cars do influence each other, but a lorry does influence a passenger car to a greater extend. With regard to the distribution of the lateral positions within a lane, it turns out that the distribution in all considered situations is Normal.

To be able to predict the separate quantitative effect of the width of the lane and the influence of a fixed object on the lateral positions, a third measurement on a location with narrow lanes without the influence of a fixed object has to be carried out (motorway A27).

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	5
Summary	7
1. Inleiding.....	11
2. Probleemanalyse	15
2.1 Het probleem.....	15
2.2 Probleemstelling	16
2.3 Doelstelling	16
2.4 Randvoorwaarden	16
2.5 Uitgangspunten	17
2.6 Aannames	17
3. Het rij- en inhaalgedrag in MIXIC 1.3DCS	19
3.1 Microsimulatie met MIXIC	19
3.1.1 Het simulatiemodel MIXIC.....	19
3.1.2 Het rijgedrag op smalle rijstroken	19
3.2 Het inhaalgedrag in MIXIC	22
3.2.1 Het longitudinale rijgedrag.....	22
3.2.2 Het laterale rijgedrag.....	27
3.3 Samengevat.....	28
4. Het literatuuronderzoek.....	29
4.1 Onderzoeksvragen literatuurstudie	29
4.2 Resultaten literatuurstudie.....	30
4.3 Samengevat.....	36
5. Het inhaalproces	39
5.1 Het keuzeproces voor het passeren	39
5.2 Het beslisschema tijdens het passeren.....	40
6. Leemten in de kennis.....	43
7. Inventarisatie meetsystemen.....	45
7.1 Meetinstrumenten	45
7.1.1 Video-observatie.....	45
7.1.2 Differential Global Positioning System	46
7.1.3 Geïnstrumenteerd voertuig.....	47
7.1.4 Interactieve rijsimulator	50
7.1.5 Enquête.....	52
7.2 Het beste meetinstrument.....	52
7.2.1 De criteria	53
7.2.2 De afweging.....	54
8. Onderzoeksoepzet video-observatie	59
8.1 Het instrument.....	59
8.2 Te onderzoeken aspecten	59
8.3 De meting.....	61
8.3.1 Opstelling	61
8.3.2 Meetperiode.....	62

8.3.3 Locaties	62
8.3.4 Benodigde steekproefomvang	63
8.4 Analyseplan video-observatie	64
8.4.1 Gegevens	65
8.4.2 Ordening gegevens	65
8.4.3 Analyse van de gegevens	65
8.4.4 Resultaten	66
8.5 Proefmeting	66
8.5.1 Locatie	66
8.5.2 Uitlezen videobeelden met ViVAtraffic	67
8.5.3 Tijdsbesteding	68
8.5.4 Evaluatie	68
9. Onderzoeksopzet interactieve rijsimulator	69
9.1 Het instrument	69
9.2 Te onderzoeken aspecten	70
9.3 Voorbereiding van de meting	71
9.3.1 Gewenste situatie	71
9.3.2 Wegconfiguraties	72
9.3.3 Benodigde steekproefomvang	73
9.3.4 Proefpersonen	73
9.4 Opzet van het rijsimulatorexperiment	73
9.4.1 Kennismaking met de rijsimulator	74
9.4.2 Opzet eerste fase	74
9.4.3 Opzet tweede fase	76
9.4.4 Opzet derde fase	77
9.5 Analyseplan	78
9.5.1 Gegevens	78
9.5.2 Analyse	78
9.5.3 Resultaten	79
9.6 Proefmeting	79
10. Resultaten video-observatie	81
10.1 Criteria geschiktheid videobeelden	81
10.2 Analyse van de gegevens	82
10.2.1 Extreme waarden	82
10.2.2 Statistische analyse van de datasets	82
10.3 Resultaten van de laterale posities	83
10.3.1 Vergelijking van combinaties per locatie	83
10.3.2 Vergelijk van locaties per combinatie	86
10.4 Resultaten van de laterale afstanden	89
10.5 Snelheden van de voertuigen	93
10.6 Algemene bevindingen	94
11. Conclusies en aanbevelingen	97
11.1 Conclusies	97
11.2 Aanbevelingen	98
12. Evaluatie	99
Literatuurlijst	103
Lijst van symbolen	107
Begrippenlijst	109

1. Inleiding

De verkeersinformatie op een willekeurige dag om half negen 's ochtends:

"Verkeersinformatie over de volgende wegen:

*A1 Amersfoort - Amsterdam tussen Amersfoort-Noord en Bunschoten 2km,
A1 Amersfoort - Amsterdam tussen Muiden en knooppunt Watergraafsmeer (A10) 7km,
A1 Hengelo - Apeldoorn tussen Brug over de IJssel en Twello 2km,
A2 Maastricht - Eindhoven tussen Valkenswaard en knooppunt Leenderheide (A67) 4km,
A2 's-Hertogenbosch - Utrecht tussen knooppunt Deil (A15) en Everdingen 10km,
A6 Lelystad - Muiden tussen Muiderzand en knooppunt Muiderberg (A1) 3km,
A7 Hoorn - Zaandam tussen Wijdewormer en knooppunt Zaandam (A8) 3km,
A8 Zaandam - Amsterdam tussen Brug over de Zaan en knooppunt Coenplein (A10) 6km.
A9 Alkmaar - Amstelveen tussen knooppunt Velsen (A22) en Haarlem-Zuid 7km,
A10 Ring Amsterdam tussen Osdorp en knooppunt de Nieuwe Meer (A4) 2km,
A10 Ring Amsterdam tussen Amsterdam-Noord en Diemen 7km,
etc, etc".*

Met langzaam rijden en stilstaan bewegen vele voertuigen zich iedere ochtend en avond over delen van 's lands autosnelwegen voort. Dat is niet direct het beeld dat wordt opgeroepen wanneer aan een autosnelweg wordt gedacht. Een autosnelweg staat over het algemeen bekend als een kwalitatief goede weg waarop met hoge snelheid gereden kan worden. Niettemin, is de realiteit helaas regelmatig anders. In de spitsuren is het verkeer, door een structureel capaciteitstekort op bepaalde delen van het autosnelwegennet, meestal niet in staat harder dan stapvoets te rijden.

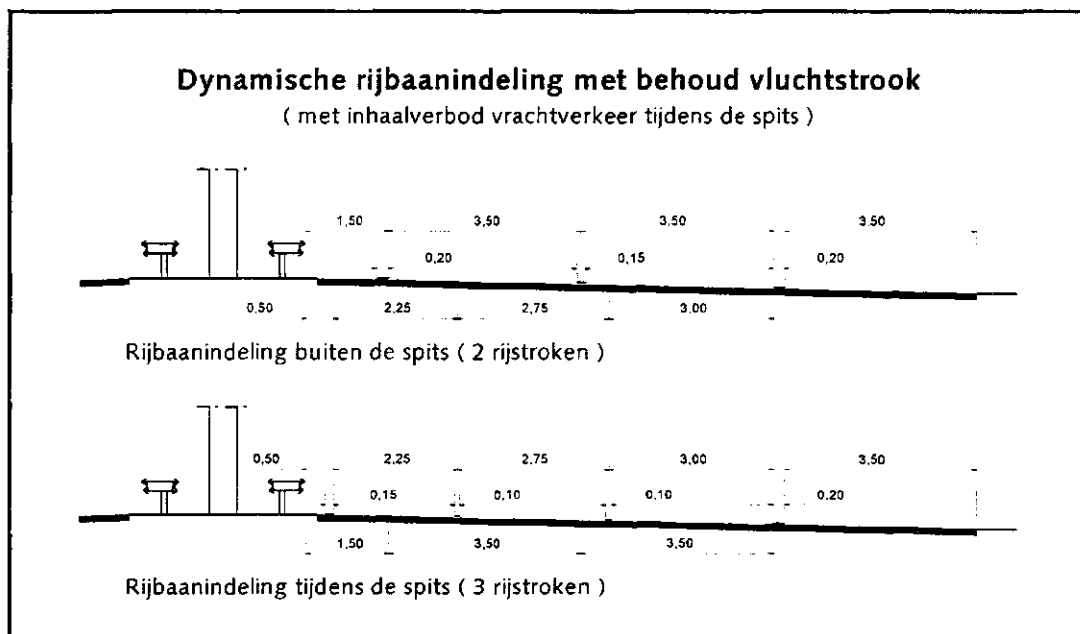
Als reactie hierop is op velerlei manieren geprobeerd de capaciteit van wegen te verhogen om zo de lange rijen voertuigen in beweging te houden. Daarbij zijn instrumenten gebruikt zoals rijbaansignalering, toeritdosering, specifieke doelgroepstroken, spitsstroken en sinds kort een dynamische linker rijstrook. Daarnaast moeten ook maatregelen zoals gerichte uitbreiding van het wegennet, verbetering van de kwaliteit van het openbaar vervoer en beleid met betrekking tot flexibele werktijden en telewerken bijdragen aan het reduceren of beter beheersbaar maken van de files.

Om de capaciteit op een wegvak te verhogen blijkt tot op heden de spitsstrook de meest succesvolle maatregel te zijn. De maatregel houdt in, dat gedurende de spitsuren de vluchtstrook wordt opgeheven en als extra rijstrook voor het verkeer wordt opengesteld. De capaciteit van het wegvak neemt daardoor fors toe. Evenwel, een belangrijke beperking van deze maatregel is, dat deze slechts tussen twee aansluitingen kan worden gerealiseerd. Bovendien betekent het opheffen van de vluchtstrook een potentieel onveilige situatie. Dit is overigens te compenseren door het toepassen van incident management en het aanleggen van vluchthavens.

Een andere maatregel waarbij de capaciteit van het wegvak eveneens fors toeneemt, maar de vluchtstrook behouden blijft, is de dynamische linker rijstrook of de plusstrook. De rijbaan bestaat hierbij permanent uit drie versmalde rijstroken, waarvan bij lage intensiteiten alleen de rechter en middelste rijstrook in gebruik zijn. De snelheidslimiet

bedraagt in deze situatie 100km/u. Afhankelijk van de (verwachte) verkeersvraag kan het aantal rijstroken met één worden uitgebreid. Daartoe wordt dan ook de linker rijstrook voor het verkeer opengesteld. De openstelling van de derde rijstrook gaat gepaard met een verlaging van de snelheidslimiet tot 70km/u.

Beide maatregelen, eerst de spitsstrook en vervolgens de plusstrook, zijn ontstaan uit het concept voor een maatregel dat al enige jaren geleden bedacht is, namelijk een dynamische rijbaanindeling (figuur 1). Nu de technische mogelijkheden toenemen, lijkt invoering van deze (oorspronkelijke) maatregel kans van slagen te hebben. Bij een dynamische indeling van de rijbaan wordt, afhankelijk van de verkeersvraag, het aantal rijstroken eveneens met één uitgebreid, waarbij ook de vluchtstrook behouden blijft. Het idee van een dynamische indeling van de rijbaan is, dat het verkeer buiten de spitsuren de beschikking heeft over twee of drie rijstroken met een standaardbreedte en gedurende de spitsuren over respectievelijk drie of vier rijstroken. Omdat bij een dynamische rijbaanindeling de vluchtstrook in zijn huidige vorm behouden blijft, moeten de rijstroken in de actieve situatie versmald worden. Deze maatregel zal, om de veiligheid van het verkeer te garanderen, gepaard gaan met een snelheidsbeperking en een inhaalverbod voor het vrachtverkeer.



figuur 1. De dynamische rijbaanindeling

(bron: Infrastructuure ontwikkeling 1999, AVV)

Een dynamische rijbaanindeling lijkt eenvoudig te realiseren, maar het dynamische karakter van de maatregel maakt het juist zeer complex. Want hoe wordt het begin en eindpunt van het wegvak vormgegeven? Hoe zit het met de markering van de rijstroken? Hoe geschiedt de overgang van de brede naar de smalle rijstroken, terwijl zich nog voertuigen op het wegvak bevinden? Hoe gaan de bestuurders zich gedragen in de smalle rijstroken? En misschien voorlopig nog wel de belangrijkste vraag: kan het juridisch allemaal wel? In verschillende studies zullen deskundigen zich over al deze en andere vragen buigen.

Aanleiding voor dit rapport vormde de vraag met betrekking tot de wijze waarop bestuurders zich aanpassen aan de situatie met versmalde rijstroken. Omdat vergelijkbare situaties zich eigenlijk alleen voordoen gedurende wegwerkzaamheden (waarbij de oorspronkelijke situatie drie of meer rijstroken kende), is er relatief weinig informatie en kennis aangaande het rijgedrag op smalle rijstroken. Zo bestaat het vermoeden, dat bij bepaalde indelingen van de rijbaan de voertuigen elkaar niet meer zullen passeren. Een beeld dat zich ook regelmatig bij wegwerkzaamheden laat zien. Daardoor kan het effect van de dynamische rijbaanindeling op de doorstroming van het verkeer aanzienlijk minder gunstig uitvallen, dan in eerste instantie wordt verwacht.

De effecten van de dynamische rijbaanindeling op de doorstroming, maar bijvoorbeeld ook op de verkeersveiligheid, worden ex-ante geëvalueerd. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een aangepaste versie van het microscopische simulatiemodel MIXIC. In deze versie worden echter parameters gebruikt, die nog zelden of nooit zijn onderzocht, waardoor het model dan ook nog niet geschikt is om toe te passen in een (ex-ante) evaluatie. De ontbrekende gegevens zullen eerst nog verzameld moeten worden, opdat er een validatie van het model kan plaatsvinden. Pas na de validatie van het model is het geschikt om toe te passen in een ex-ante evaluatie naar de effecten van een dynamische rijbaanindeling op de doorstroming en de verkeersveiligheid.

Leeswijzer

In dit rapport wordt een aanpak beschreven om ontbrekende gegevens voor het microscopische simulatiemodel MIXIC te verkrijgen. De aanpak van dit probleem kan alleen succesvol verlopen indien er een duidelijk probleem en doel gedefinieerd zijn (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 nagegaan hoe het bestuurdersmodel werkt en welke gegevens ontbreken om het rijgedrag op versmalde rijstroken te modelleren. Dit vormt dan het uitgangspunt voor een aanvullende literatuurstudie op een reeds uitgevoerde literatuurstudie (hoofdstuk 4). De kennis, die met MIXIC en de literatuur is opgedaan, wordt gebruikt om een schematische voorstelling te maken van de beslissingen die een bestuurder neemt, wanneer hij heeft besloten andere voertuigen in te halen (hoofdstuk 5). Er is nu een duidelijk beeld ontstaan van het inhaalgedrag en de keuzes, waarop bepaalde beslissingen worden gebaseerd. In hoofdstuk 6 is dan een definitieve lijst opgenomen, waarin staat vastgesteld welke (basis)gegevens nog ontbreken en dus op enigerlei wijze verzameld dienen te worden. Deze lijst dient als uitgangspunt voor de rest van de studie. In hoofdstuk 7 worden verschillende instrumenten geïnventariseerd, waarmee (een deel van) de ontbrekende gegevens verzameld kunnen worden. In hoofdstuk 8 en 9 wordt voor elk van de gekozen instrumenten een onderzoeksopzet beschreven, om de ontbrekende gegevens te verzamelen. De beschreven onderzoeksopzet in hoofdstuk 8 wordt vervolgens in hoofdstuk 10 deels uitgevoerd. In dit hoofdstuk zijn resultaten en eerste conclusies gepresenteerd met betrekking tot de ontbrekende gegevens. In hoofdstuk 11 worden algemene conclusies en aanbevelingen gedaan met betrekking tot respectievelijk dit rapport en eventuele vervolgstudies. Tot slot wordt in hoofdstuk 12 kort beschouwd wat de resultaten voor informatie hebben opgeleverd met betrekking tot het rij- en inhaalgedrag. Achterin dit rapport zijn lijsten met beschrijvingen van de belangrijkste begrippen en gebruikte symbolen opgenomen. Verder is er een aparte bijlagenbundel bij dit rapport. Een verwijzing in de tekst naar een bijlage kan hierin worden teruggevonden.

2. Probleemanalyse

2.1 Het probleem

Binnen het Ministerie van Verkeer en Waterstaat wordt op dit moment gewerkt aan het concept van een dynamische rijbaanindeling. Dit concept moet er toe bijdragen dat de verkeersprestatie op het bewuste wegvak en het omringende netwerk tijdens de spitsuren aanzienlijk verbetert.

Het concept van de dynamische rijbaanindeling is echter nieuw, zowel voor Nederland als voor andere landen. Dit is dan ook een van de redenen, dat er nauwelijks specifieke kennis beschikbaar is aangaande het rijgedrag van de weggebruiker in omstandigheden waarbij de rijstroken versmald zijn. Ten tijde van situaties met werk-in-uitvoering zijn er wel ervaringen met versmalde rijstroken opgedaan, maar verder dan een kwalitatieve analyse van het waargenomen rijgedrag kwam het meestal niet. Algemeen gesteld zijn de bevindingen bij werk-in-uitvoering, dat zowel het longitudinale als het laterale rijgedrag van de weggebruiker worden beïnvloed door de breedte van de rijstroken. Het ligt dan ook in de lijn der verwachting dat een rijbaanindeling met versmalde rijstroken invloed zal hebben op het individuele rijgedrag en daardoor tevens op de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid.

Omdat de invloed van een rijbaanindeling, zoals deze voor de dynamische rijbaanindeling is voorgesteld, op het rijgedrag onvoldoende bekend is, wordt het van belang geacht de mogelijke effecten ex-ante in kaart te brengen. Daartoe is eerst een literatuurstudie uitgevoerd (Hogema en Brouwer, 1999), waarin is geprobeerd om een beeld te vormen van de gedragsaspecten snelheidskeus (onder invloed van versmalde rijstroken, in combinatie met een snelheidslimiet), koershoudgedrag (vetergang) en interactie tussen de voertuigen (volggedrag, inhaalbeslissingen en inhaalgedrag). De bevindingen uit deze literatuurstudie zijn vervolgens gebruikt voor de modellering van het bestuurdersmodel in het microscopisch simulatiemodel MIXIC 1.3DCS.

Dit microscopisch simulatiemodel is vervolgens gebruikt in een verkennende simulatiestudie van de dynamische rijbaanindeling (Tampère, 1999). Hierbij is onder andere op de verschillende toegevoegde deelmodellen en parameters een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Een van resultaten van deze analyse is, dat het effect van de rijstrookbreedte op de vetergang door de beperkte hoeveelheid studiemateriaal slechts matig onderbouwd is. Verder ontbreekt de kennis betreffende de invloed die zowel stilstaande als bewegende objecten uitoefenen op de gemiddelde laterale positie van voertuigen. Ook blijkt de snelheidskeus bij een inhaalmanoeuvre niet alleen afhankelijk te zijn van de vetergang van de betrokken voertuigen, maar in sterke mate ook van de gevoeligheid voor lateraal nabije objecten. Kennis over de manier waarop (kwalitatief) als de mate waarin (kwantitatief) de snelheid wordt aangepast als gevolg van kleine laterale afstanden tussen de objecten ontbreekt geheel.

De simulatiestudie toonde aan dat omtrent bepaalde aspecten van het rijgedrag op smalle rijstroken essentiële gegevens ontbreken. Dit wil niet zeggen dat de modellering van het bestuurdersmodel onjuist is, maar wel dat dit nog enige aandacht behoeft met betrekking tot de validatie ervan. Dit om de resultaten van de simulatiestudie uiteindelijk zonder wantrouwen te kunnen interpreteren.

2.2 Probleemstelling

Het vermoeden bestaat dat vooral het gedrag met betrekking tot het inhalen van andere voertuigen in belangrijke mate bepalend zal zijn voor de verkeersprestatie en de capaciteit op een wegvak met een dynamische rijbaanindeling. Er is echter te weinig kennis van het rij- en inhaalgedrag beschikbaar om deze veronderstelling te bevestigen. Daarom moeten er (kwantitatieve) gegevens van bepaalde aspecten van dit gedrag ingewonnen worden, zodat de veronderstelling, dat het rij- en inhaalgedrag bepalend is voor de verkeersprestatie en de capaciteit, op juistheid getoetst kan worden.

Probleemstelling

Door een gebrek aan kwantitatieve gegevens betreffende de invloed van de breedtes van de rijstroken en de invloed van rondom een voertuig aanwezige objecten op het rijgedrag van bestuurders, in zowel longitudinale als laterale zin, kan het rij- en inhaalgedrag van de weggebruiker (op smalle rijstroken) niet adequaat beschreven worden.

2.3 Doelstelling

Er zijn dus onvoldoende gegevens beschikbaar. Om het rij- en inhaalgedrag nu zo goed en realistisch mogelijk te modelleren, moeten daarom eerst nieuwe gegevens verzameld worden. Daarvoor staan diverse instrumenten en methodes ter beschikking. Welke instrumenten en methodes het meest geschikt zijn, zal in dit rapport worden nagegaan. De vraag die hierbij centraal staat, is in welke mate de rijstrookbreedte het inhaalgedrag beïnvloedt.

Doelstelling

Vaststellen welke gegevens noodzakelijk zijn, opdat het rij- en inhaalgedrag adequaat beschreven kan worden, en welke gegevens daarvan ontbreken. En, vaststellen op welke wijze de ontbrekende gegevens van de verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag (op smalle rijstroken) verzameld kunnen worden.

2.4 Randvoorwaarden

De resultaten zijn geldig voor capaciteitsomstandigheden.

De dynamische rijbaanindeling is een maatregel die alleen gedurende de spitsuren in werking treedt. Dus op momenten dat de intensiteit de capaciteit benadert. Om het rij- en inhaalgedrag zo goed en realistisch mogelijk in het simulatiemodel te modelleren, zullen de metingen daarom in vergelijkbare situaties uitgevoerd moeten worden.

De meetlocaties hebben tenminste 3 versmalde rijstroken.

Een belangrijk aspect van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken is de interactie tussen de voertuigen op dezelfde rijbaan. Omdat het aantal rijstroken bij een dynamische indeling van de rijbaan 3 of 4 zal bedragen, is het van groot belang om de meting in een vergelijkbare situatie uit te voeren. De gegevens betreffende het gedrag zijn dan het meest representatief.

De resultaten van de metingen zijn bruikbaar voor MIXIC 1.3DCS.

De resultaten, indien relevant, moeten in het microscopische simulatiemodel MIXIC 1.3DCS als de gevraagde parameters voor het bestuurdersmodel ingevoerd kunnen worden.

De waarden van de parameters moeten dus overeenkomen met de waarden die in MIXIC gevraagd worden. Neem bijvoorbeeld de gemiddelde dwarspositie van voertuigen, deze kan bepaald worden t.o.v. het midden van de rijstrook, t.o.v. de grens van de rijstrook of t.o.v. de grens van de rijbaan. Hoewel de informatie niet verandert, maakt het voor het model dus wel uit hoe de gegevens aangeleverd worden.

2.5 Uitgangspunten

De meting wordt verricht in een ongestoorde verkeersstroom.

Om het rij- en inhaalgedrag goed te analyseren is het van belang, dat de verkeersstroom zo min mogelijk verstoord is. Verstoringen kunnen leiden tot onjuiste metingen of tot metingen die een verkeerde indruk wekken. Daarom moet op minimaal 500 meter afstand voor of na het puntstuk van een op- of afrit, een samenvoeging of een splitsing gemeten worden (HCM, 1994).

De metingen worden op verschillende locaties verricht.

Om inzicht te verkrijgen in de invloed van de rijstrookbreedte op het rij- en inhaalgedrag, is het noodzakelijk om op verschillende locaties te meten. Daarbij zullen de breedtes van de rijstroken op de verschillende locaties moeten variëren. Daarnaast kan ook gedacht worden aan locaties waarbij de directe wegomgeving varieert (betonnen barrier, berm).

2.6 Aannames

Alle bestuurders zijn gelijk.

Hoewel de verschillen tussen de verschillende bestuurders(groepen) interessante informatie kan opleveren, wordt er geen aandacht besteed aan de individuele weggebruiker met specifieke kenmerken zoals leeftijd, geslacht, medicijn-, alcohol-, of druggebruik e.d.

3. Het rij- en inhaalgedrag in MIXIC 1.3DCS

In dit hoofdstuk volgt een beschrijving van het rij- en inhaalgedrag, zoals dat in het bestuurdersmodel van het microscopisch simulatiemodel MIXIC 1.3DCS gemodelleerd is. Hoewel er weinig over het inhaalgedrag gerapporteerd is, is er desondanks geprobeerd een voorstelling van dit gedrag te maken om dit vervolgens te modelleren.

In de specificaties (Hogema en Tampère, 1999), op basis waarvan deze beschrijving plaatsvindt, wordt verondersteld dat de rijstrookbreedte de netto breedtes zijn, ofwel elementen langs de weg hebben geen effect op het rijgedrag en de effectieve breedte, die een bestuurder tot zijn beschikking heeft.

Het inhaalgedrag kent een longitudinale en een laterale component. Deze twee componenten hebben onderling een sterke relatie. Zo leidt bijvoorbeeld een kleine laterale afstand tussen twee voertuigen tot een reductie van de snelheid van het passerende voertuig. Terwijl andersom ook geldt, dat als de snelheid op een wegvak lager is, bestuurders een kleinere laterale afstand zullen accepteren. Dit geeft aan dat beide componenten sterk van elkaar afhankelijk zijn.

Allereerst zal een beeld geschetst worden van hoe het simulatieprogramma globaal werkt. Vervolgens zal dieper op het gemodelleerde inhaalgedrag worden ingegaan. Dit is een tamelijk complex stuk, maar vormt een belangrijke basis voor het opzetten van het onderzoek. Om het hoofdstuk af te sluiten worden de belangrijkste ontbrekende gegevens in het gemodelleerde inhaalgedrag nog eens samengevat.

3.1 *Microsimulatie met MIXIC*

3.1.1 Het simulatiemodel MIXIC

MIXIC is een microscopisch simulatiemodel, dat ontwikkeld is om ex-ante in te kunnen schatten, wat de effecten zijn van rijtaakondersteunende systemen op de verkeersafwikkeling. Om deze effecten juist in te schatten, is het noodzakelijk dat zowel de bestuurders als de voertuigen op detailniveau gesimuleerd worden. Daarmee behoort MIXIC tot de groep der microscopische simulatiemodellen. Dergelijke simulatiemodellen kenmerken zich door een uitgebreid bestuurdersmodel, waarin de interacties tussen bestuurder, voertuig, infrastructuur en andere voertuigen op individueel niveau worden gemodelleerd. Dit bestuurdersmodel, dat de kern van het microscopische model vormt, wordt veelal beschreven met modellen voor het volg-, strookwissel-, acceleratie- en koershoudgedrag.

Het simulatiemodel MIXIC is echter uitgebreid, zodat het in staat wordt geacht het rijgedrag van de individuele bestuurder op smallere rijstroken dan de gebruikelijke 3.50 meter te simuleren. De uitbreidingen aan het model hebben hoofdzakelijk betrekking gehad op de reactie van de weggebruikers op een geldende snelheidslimiet en de smallere rijstrook, en op de invloed van kleine laterale afstanden op het passeren van andere voertuigen.

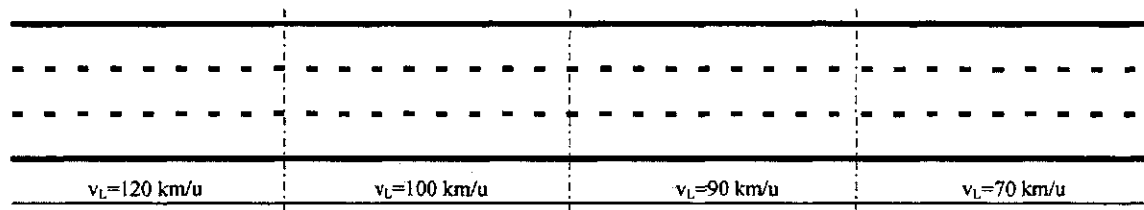
3.1.2 Het rijgedrag op smalle rijstroken

Om nu eens te kijken hoe het model reageert op de aanpassingen, worden simpelweg één personenauto en één vrachtauto de weg opgestuurd. Het wegvak waar deze voertuigen over

rijden, wordt steeds onderverdeeld in 4 segmenten. Alle segmenten beschikken over drie rijstroken. Per segment zal de breedte van de rijstrook en/of snelheidslimiet variëren.

Effect van de snelheidslimiet

Ten eerste is nagegaan, wat de invloed is van een snelheidslimiet op de gereden snelheid. Daartoe wordt per segment een andere snelheidslimiet opgegeven (zie figuur 2). Door nu de voertuigen gedurende de simulatie te volgen, wordt inzicht verkregen in hoe MIXIC met de snelheidslimieten omgaat. De beide voertuigen zijn hierbij met een bepaalde snelheid de weg opgestuurd ($v_{\text{auto}}=117\text{km/u}$, $v_{\text{vracht}}=81.5\text{km/u}$). De rijstrookbreedte bedroeg in alle segmenten 3.50 meter.

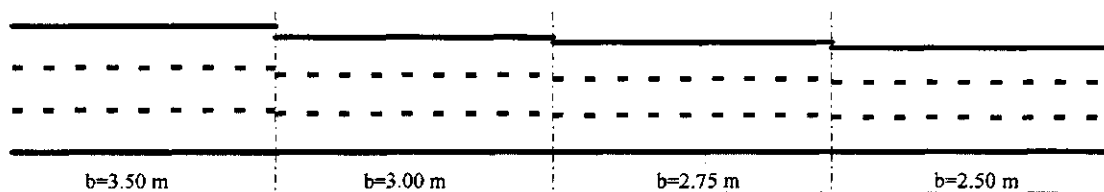


figuur 2. Configuraties ter bepaling van het effect van een snelheidslimiet op gereden snelheid

In tabel 1 zijn de resultaten van de diverse runs opgenomen. Hoewel de snelheid van beide voertuigen op de opeenvolgende segmenten afneemt, kan niet gesteld worden, dat de snelheidslimiet een groot effect heeft op de gereden snelheid. Opvallend is de versnelling van de vrachtauto tot 94km/u . Dit is niet conform hetgeen verwacht mag worden wetende, dat de snelheid van een vrachtauto tegenwoordig begrensd is op circa 85km/u .

Effect van de rijstrookbreedte

Vervolgens is nagegaan hoe voertuigen reageren op de smallere rijstroken onder een gelijkblijvende snelheidslimiet van 120km/u . De aanvangssnelheden van de twee voertuigen zijn hetzelfde als in de voorgaande runs. In figuur 3 zijn de configuraties weergegeven en uit tabel 1 zijn de resultaten af te lezen.

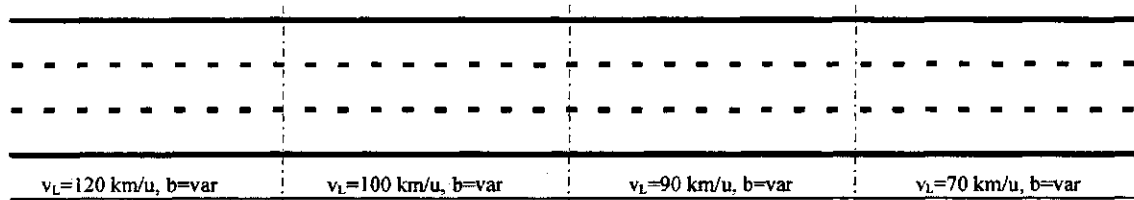


figuur 3. Configuraties ter bepaling van het effect van de rijstrookbreedte op de gereden snelheid

Het resultaat kan ronduit verrassend genoemd worden. Bij een snelheidslimiet van 120km/u blijkt de breedte van de rijstrook totaal geen invloed te hebben op de gereden snelheid. Dit is in tegenspraak met de gebruikte vergelijking, waarmee het effect van de rijstrookbreedte en de snelheidslimiet wordt bepaald (vergelijking 2). Volgens deze vergelijking zou de snelheid bij het smaller worden van de rijstroken moeten afnemen.

Gecombineerd effect

Vervolgens is nagegaan, wat het gecombineerde effect is van smallere rijstroken en een snelheidslimiet op de gereden snelheid. Hierbij worden beide voorgaande gesimuleerde situaties gecombineerd. Hiertoe wordt per segment een andere snelheidslimiet gehanteerd en wordt in de verschillende runs gevarieerd met de rijstrookbreedte (figuur 4).



figuur 4. Configuraties ter bepaling van het effect van de rijstrookbreedte en snelheidslimiet op de snelheid

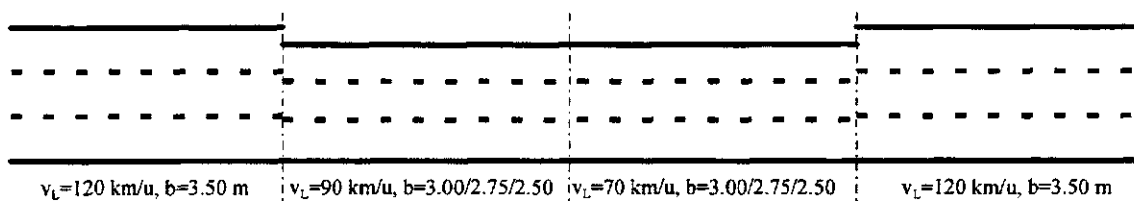
Het blijkt dat het gecombineerde effect van de rijstrookbreedte en de snelheidslimiet groter is dan de effecten per factor. Voor de personenauto althans, voor de vrachtauto blijkt alleen een snelheidslimiet effect te hebben op de gereden snelheid. Het effect van de rijstrookbreedte op de snelheid van de vrachtwagen is nihil. Dit laatste mag op z'n minst opvallend genoemd worden.

tabel 1. Effect van de rijstrookbreedte en de snelheidslimiet op de gereden snelheid [km/u]

snelheidslimiet	type voertuig	rijstrookbreedte [m]			
		3.50	3.00	2.75	2.50
120km/u	auto	117	117	117	117
	vrachtwagen	94	94	94	94
100km/u	auto	113	111	109	108
	vrachtwagen	87	87	87	87
90km/u	auto	109	107	105	104
	vrachtwagen	83	83	83	83
70km/u	auto	101	98	97	96
	vrachtwagen	79	77	77	75

Effect van andere voertuigen

Verder wordt nog nagegaan hoe de voertuigen op elkaar reageren op zowel een normaal als op een versmald dwarsprofiel, al dan niet in combinatie met een snelheidslimiet. Hiertoe wordt een groep van verschillende typen voertuigen de weg opgestuurd, waarbij de configuratie en de snelheidslimiet als in figuur 5 zijn. Wat in het eerste segment weer opvalt, is dat met name de vrachtauto's aanzienlijk versnellen.



figuur 5. Configuratie ter bepaling van het effect van de rijstrookbreedte op voertuiginteractie

In het tweede segment valt op, dat het snelheidsverschil tussen beide voertuigen afneemt (de personenauto vertraagt) als een personenauto een vrachtauto passeert. Wanneer de personenauto de vrachtauto gepasseerd is, versnelt deze iets. Verder treedt het verschijnsel op, dat een voertuig een voorliggend voertuig niet kan passeren, doordat het voorliggende voertuig te ver van zijn koers is afgeweken of te breed is. Dit verschijnsel wordt 'locking' genoemd.

Hetzelfde beeld treedt op in het derde segment. De snelheidslimiet is hier met 70km/u lager. De snelheid van de voertuigen op dit segment neemt onder invloed van de lagere snelheidslimiet verder af. Ook het snelheidsverschil tijdens een passeermanoeuvre lijkt in dit segment af te nemen. Verder doet het verschijnsel van 'locking' zich ook nu weer voor. Het laatste segment is weer een gewoon dwarsprofiel waarop een snelheidslimiet van 120km/u geldt. De voertuigen lijken alle weer naar hun wenssnelheid te accelereren en het inhalen van andere voertuigen lijkt geen problemen meer op te leveren.

In het voorgaande zijn globaal al een aantal aspecten van het rij- en inhaalgedrag, zoals gemiddelde dwarspositie, vetergang en passeersnelheid aan bod gekomen. Aan deze en andere aspecten zal in de volgende twee paragrafen meer aandacht worden besteed.

3.2 Het inhaalgedrag in MIXIC

In deze paragraaf wordt het effect van het inhaalgedrag op smalle rijstroken, zoals dat in MIXIC is gemodelleerd, toegelicht. Daarbij zal voornamelijk een toelichting worden gegeven op de toegepaste formules. Omdat de kennis omtrent de gedragseffecten van smalle rijstroken beperkt is en dit een van de eerste pogingen is deze effecten te modelleren, zullen de gebruikte formules op een aantal punten voor verbetering vatbaar zijn. Daarom zal daar waar dat nodig geacht wordt, een kritische noot geplaatst worden. In de afzonderlijke subparagrafen worden de gedragseffecten op het longitudinale en laterale rijgedrag toegelicht en bekritiseerd. In de samenvatting waarmee dit hoofdstuk wordt afgesloten, zal worden aangegeven op welke punten het model aanvulling en verbetering behoeft.

3.2.1 Het longitudinale rijgedrag

De modellering van de longitudinale component van het rij- en inhaalgedrag bestaat uit een aantal modules. In deze subparagraaf worden de modules snelheidskeus, passeren van andere voertuigen, bepalen van de minimale laterale afstand tussen twee voertuigen en de invloed van voorliggers nader toegelicht.

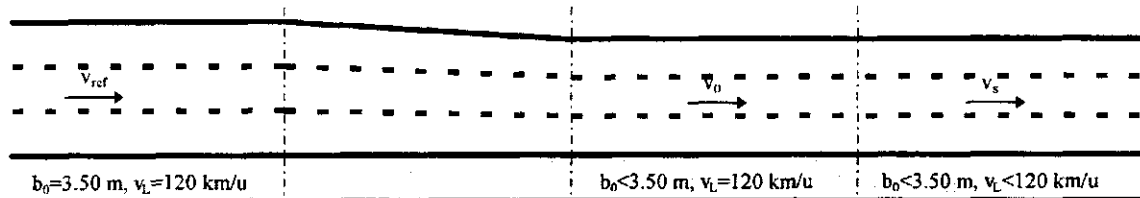
Snelheidskeus

Een van de aspecten van het longitudinale rijgedrag is de snelheidskeus. De wenssnelheid blijkt afhankelijk te zijn van enerzijds de rijstrookbreedte en anderzijds van de op het wegvak geldende snelheidslimiet (Hogema en Brouwer, 1999). De functie waarmee het gecombineerde effect van rijstrookbreedte en snelheidslimiet op de vrije snelheidskeus kan worden bepaald, is weergegeven in vergelijking 1. De constante K geeft hierin aan in welke mate de op het wegvak geldende snelheidslimiet wordt nageleefd.

$$v_s = v_L + K \cdot (v_0 - v_L) \quad (1)$$

waarin:

v_s snelheid aangepast aan de snelheidslimiet en rijstrookbreedte (km/u),
 v_L geldende snelheidslimiet (km/u),
 K constante die de mate van naleving van de snelheidslimiet weergeeft (0.6),
 v_0 snelheid aangepast aan rijstrookbreedte (km/u).
 (bron: Hogema en Brouwer, 1999)



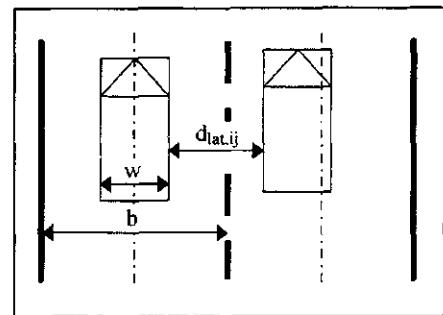
figuur 6. Snelheidskeus onder invloed van de rijstrookbreedte en de snelheidslimiet

De snelheid op een versmalde rijstrook zonder snelheidslimiet (vergelijking 2) wordt bepaald aan de hand van een reductiefactor. Voor zowel de normale als de versmalde situatie worden de reductiefactoren bepaald (vergelijking 3), waarvan het quotiënt van beide factoren vervolgens weer een factor oplevert. Deze laatste factor vermenigvuldigt met de wenssnelheid op een normale rijstrook, levert dan de wenssnelheid op een versmalde rijstrook op.

$$v_0 = v_{ref} \cdot \frac{RF(b-w)}{RF(3,50-w)} \quad (2)$$

waarin:

v_0 snelheid aangepast aan de rijstrookbreedte (km/u),
 v_{ref} wenssnelheid onder normale condities (km/u),
 w voertuigbreedte (m),
 b rijstrookbreedte (m),
 RF reductiefactor (zie vergelijking 3).
 (bron: Hogema en Brouwer, 1999)



figuur 7. Gebruikte afmetingen en afstanden

De reductiefactoren uit vergelijking 2 worden bepaald op basis van de restbreedte. De restbreedte is hierbij gedefinieerd als de breedte van de rijstrook verminderd met de breedte van het voertuig. Dus zowel de breedte van de rijstrook als de breedte van het voertuig bepalen de reductiefactor.

$$RF(rb) = 1 - \frac{(rb_{max} - rb) \cdot (1 - RF_{min})}{(rb_{max} - rb_{min})} \quad (3)$$

waarin:

RF_{min} reductiefactor bij $b_{min} = 2.00m$ met de waarde constant 0.89,
 rb_{max} maximale restbreedte (1.78m),
 rb_{min} minimale restbreedte (0.28m).
 (bron: Hogema en Brouwer, 1999)

¹ De relatie in deze vergelijking is gevonden bij een voertuigbreedte van 1.72m. De maximale restbreedte bedraagt dan $3.50 - 1.72 = 1.78m$. De minimale restbreedte is de restbreedte bij een rijstrookbreedte van 2.00m.

Kritische noot

In de vergelijking 1 tot en met 3 is een relatie beschreven tussen de gereden snelheid, de wenssnelheid, de snelheidslimiet en de rijstrookbreedte. Vooral het effect van de rijstrookbreedte blijkt redelijk zwak te zijn. Dit kan het gevolg zijn van de experimentele situaties waarin het effect van de rijstrookbreedte op de rij snelheid onderzocht is. Het effect van de snelheidslimiet daarentegen is sterker (met de huidige parameterinstelling), maar lijkt eveneens aan de zwakke kant te zijn.

In de formule voor het bepalen van de rij snelheid wordt de factor K gebruikt. De waarde van deze factor is voorlopig op 0.6 gesteld, maar kan evengoed een andere waarde hebben. K kan bijvoorbeeld afhangen van de intensiteit of van de gehanteerde snelheidslimiet.

Daarnaast wordt er in bovenstaande formules uitgegaan van een maximale restbreedte van ongeveer 1.80 meter. Deze restbreedte hoort bij een rijstrook van 3.50 meter breed en een ontwerpsnelheid van 120km/u. Het lijkt aannemelijk dat de restbreedte bij lagere ontwerpsnelheden zal afnemen. De ROA (1994) zegt bijvoorbeeld dat bij een ontwerpsnelheid van 90km/u de rijstrookbreedte 3.25 meter mag bedragen.

Passeren van andere voertuig

Een ander aspect van het longitudinale rijgedrag is het passeren van andere voertuigen op smalle rijstroken. De gevolgde aanpak veronderstelt daarbij een effect van lateraal nabije voertuigen op het longitudinale rijgedrag, zodanig dat een bestuurder zijn snelheid aanpast aan de ruimte die hem tussen zijn eigen voertuig en het voertuig in de aangrenzende rijstrook ter beschikking staat. In het uiterste geval, indien er onvoldoende tussenruimte resteert, zal de bestuurder de inhaalmanoeuvre onderbreken en het in te halen voertuig op korte afstand volgen.

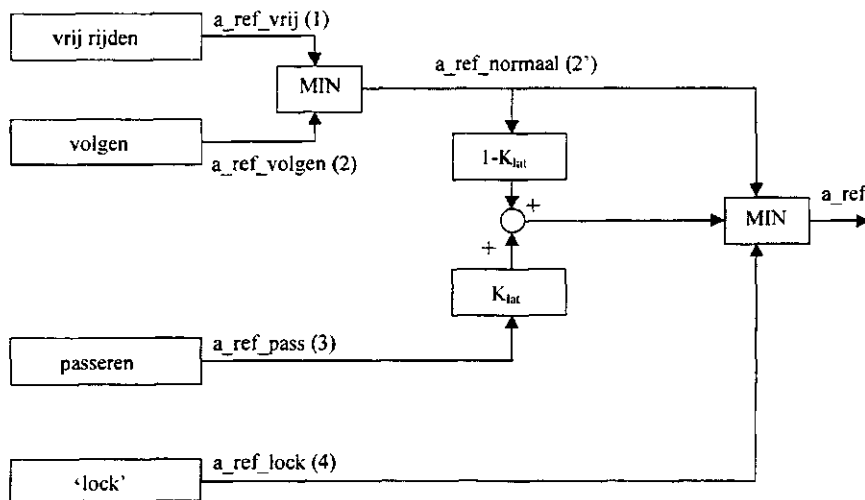
Hiervoor is een functie opgesteld. De basis hiervan is een veralgemeniseerd longitudinaal bestuurdersmodel dat vrij rijden en normaal volgggedrag combineert met de invloed van een voertuig op de aangrenzende strook. De invloed van dit voertuig wordt aangegeven met de variabele K_{lat} . Als K_{lat} de waarde 0 heeft, is de invloed te verwaarlozen, heeft K_{lat} de waarde 1, dan is de invloed van het voertuig maximaal.

Bij het passeren van een voertuig wordt het volgende van de inhalende bestuurder verondersteld (zie ook figuur 8):

Standaard kent het bestuurdersmodel van MIXIC al de longitudinale acties 'vrij rijden' en 'volgen'. Hierbij wordt van de bestuurder verondersteld, dat deze kijkt hoeveel hij moet accelereren om de wenssnelheid te bereiken (1) en hoeveel hij moet accelereren om zijn voorganger op een acceptabele afstand te volgen (2). Van deze twee neemt de bestuurder de kleinste versnelling (2').

In het geval van dichtbij rijdende voertuigen op de aangrenzende rijstrook zijn er twee mogelijkheden toegevoegd. De eerste mogelijkheid is om het voertuig met aangepaste snelheid voorbij te rijden (3). Dit is een weging van 2' en een acceleratie die het snelheidsverschil met het voertuig naast hem tracht te dempen. De tweede component weegt daarbij des te meer door naarmate de laterale afstand kleiner wordt (K_{lat}). Komt deze afstand onder een bepaalde drempel, dan durft de bestuurder het voertuig op de naastliggende rijstrook niet meer te passeren en gaat de mogelijkheid van 'locking' (4) in werking. Dit betekent dat de bestuurder het (naar zijn mening te nabije) voertuig op de

aangrenzende rijstrook als voorligger gaat beschouwen. Hierbij probeert de bestuurder deze voorligger op korte afstand te volgen (evenals een bestuurder die een voorganger op de eigen rijstrook volgt). (De MIN-blokken zorgen ervoor, dat de nieuw toegevoegde regels nooit sneller doen rijden dan het geval was zonder die regels, en dat de strengste van de regels 1, 2, 3 en 4 wordt gevolgd.)



figuur 8. Diagram van het aangepaste longitudinale bestuurdersmodel
(bron: Hogema en Tappère, 1999)

Kritische noot

Wanneer een bestuurder zijn voorganger niet kan inhalen, zal deze zijn voorganger op een zekere (vaste) afstand volgen. Hoe groot deze afstand zal zijn, is niet bekend. Ook zal de bestuurder een bepaald minimaal snelheidsverschil met zijn voorligger aanhouden om de inhaalmanoeuvre niet te lang laten duren. Hoe groot dit verschil bedraagt, is eveneens onbekend.

Bepalen van de minimale laterale tussenruimte

Er zal zich regelmatig een situatie voordoen, waarbij de laterale afstand tussen twee voertuigen dusdanig klein is, dat een bestuurder een voertuig op de aangrenzende rijstrook niet durft te passeren. Op basis waarvan een bestuurder deze beslissing neemt, is niet geheel duidelijk. Voorlopig kan in MIXIC de minimale laterale afstand tussen de voertuigen als volgt worden bepaald:

- Er wordt een constante minimale marge tussen de voertuigen verondersteld, waarbinnen de inhaalmanoeuvre niet wordt uitgevoerd;
- De minimaal geaccepteerde marge is afhankelijk van de voertuigbreedte en het subjectief ingeschatte risico dat de bestuurder wil nemen. Dit laatste wordt berekend aan de hand van de massa's van beide voertuigen;
- Een combinatie van beide.

Kritische noot

Het is niet duidelijk hoe een bestuurder de minimale laterale afstand inschat. Als dat een vaste waarde zou zijn, is de vraag hoe groot deze waarde is. Is dit een marge van

de voertuigbreedte, dan is de vraag hoe groot deze marge is. Nu is aangenomen dat de marge van de voertuigbreedte 0.1 bedraagt (bij een voertuigbreedte van ongeveer 1.70m is deze afstand dus slechts 0.17m).

Een andere vraag is hoe het subjectief risico kan worden bepaald. Zijn hierbij inderdaad de massa's van de betrokken voertuigen een belangrijke factor of zijn ook andere factoren van belang, zoals bijvoorbeeld hoogte, kleur en het model van het voertuig. Een bestuurder kan het gewicht van een ander voertuig immers moeilijk inschatten.

K_{lat} en de 'lock state'

De kern van het inhaalproces op versmalde rijstroken is de invloed die voertuigen in de aangrenzende rijstroken hebben op het inhalende voertuig. Wanneer de voertuigen (lateraal) dichter bij elkaar rijden zal dat van invloed zijn op het longitudinale rijgedrag (o.a. snelheid) tijdens de passeermanoeuvre. Dit wordt uitgedrukt in de factor K_{lat}. Naarmate de voertuigen dichter bij elkaar komen, neemt deze factor toe van 0 tot 1 (zie ook vergelijking 4). Bij 0 is de invloed verwaarloosbaar en bij 1 is de invloed van het voertuig in de aangrenzende rijstrook maximaal. Als K_{lat} groter dan 1 is, dan zal het inhalende voertuig zijn inhaalmanoeuvre afbreken en het voertuig in de aangrenzende rijstrook op een korte longitudinale afstand volgen (lock state), tot de laterale afstand tussen beide voertuigen weer voldoende is.

$$K_{lat} = 1 - \text{sign}(\text{frac}) * \text{abs}(\text{frac})^\alpha \quad (4)$$

waarin:

α	gevoeligheidsfactor,
frac	$\frac{(d_{lat} - \gamma)}{(d_{lat,nom} - \gamma)}$
d_{lat}	actuele laterale afstand (m),
$d_{lat,nom}$	nominale laterale afstand (m) ² ,
γ	minimum laterale afstand (m).

(bron: Hogema en Tampère, 1999)

Kritische noot

De gevoeligheidsfactor α is op dit moment op 1.0 (neutraal) gesteld. Bij waarden groter dan 1.0 neemt de gevoeligheid voor lateraal nabije voertuigen toe, bij waarden kleiner dan 1.0 neemt deze af. Welke waarde deze factor zou moeten hebben, zal dus verder uitgezocht moeten worden.

De nadruk ligt bij het bepalen van de factor op de laterale afstand tot de voertuigen in de aangrenzende rijstroken. Het model bepaalt hierbij de afstand tot de voertuigen apart. Het is misschien logischer te veronderstellen, dat de bestuurder van een voertuig de afstand tussen beide voertuigen in de beide naastliggende rijstroken inschat, en daarop zijn beslissing tot het wel of niet passeren baseert.

² De nominale laterale afstand tussen twee voertuigen is de afstand tussen beide voertuigen indien beide voertuigen in het midden van de rijstrook zouden rijden.

Invloed van voorliggers

Een interessante vraag is welke voertuigen allemaal van invloed zijn bij het uitvoeren van een inhaalmanoeuvre. In het model wordt er voorlopig vanuit gegaan dat voertuigen, die in de aangrenzende rijstroken op minder dan 40 meter gevolgd worden, relevant zijn. Gezien de beperkte afstand heeft dit dus voornamelijk betrekking op het ingehaalde voertuig en diens voorganger op dezelfde rijstrook.

Kritische noot

De voertuigen die zich in de aangrenzende rijstroken binnen een afstand van 40 meter voor het inhalende voertuig bevinden worden relevant geacht bij de inhaalmanoeuvre. Echter, ook de voorliggers en misschien zelfs de volgers in dezelfde rijstrook zullen relevant zijn. Zij rijden bijvoorbeeld alle met een bepaalde snelheid, die deze bestuurder min of meer wordt opgelegd. Ook kan het type voertuig, dat gepasseerd wordt, van belang zijn bij het (wel of niet) uitvoeren van de inhaalmanoeuvre.

3.2.2 Het laterale rijgedrag

Naast de longitudinale component van het inhaalgedrag is er de laterale component. Deze wordt beschreven door het koershoudmodel. Bestuurders rijden namelijk niet met een vaste positie over de weg, maar met, zoals dat heet, een vetergang. Dit betekent dat de voertuigen om een zekere gemiddelde positie over de weg slingeren. Het model in MIXIC bestaat uit het bepalen van een gemiddelde positie en een standaarddeviatie. Voor de standaarddeviatie zijn de bevindingen van Tenkink gebruikt. Zijn formule (vergelijking 5) geeft een verband weer tussen de afwijking en de restbreedte. In de restbreedte is het effect van de snelheid verdisconteerd, omdat op smallere rijstroken langzamer gereden wordt.

$$sd_{lane} = sd_1 + sd_2 * marge \quad (5)$$

waarin:

sd_1 constante (0.022m)
 sd_2 constante (0.026)
 marge rijstrookbreedte minus voertuigbreedte (m).
 (bron: Hogema en Brouwer, 1999)

Wat de gemiddelde dwarspositie betreft, wordt verondersteld dat de gemiddelde positie van de voertuigen in de middelste rijstroken in het centrum van de rijstrook ligt. Voor de voertuigen in buitenste rijstroken wordt een gemiddelde positie bepaald aan de hand van een gegeven standaarddeviatie van de dwarspositie en de kans op lijnoverschrijding. Hierbij wordt ervan uitgegaan, dat de gemiddelde dwarspositie in de buitenste helft van de rijstrook ligt.

Verder wordt voor ieder voertuig elke 15 seconde een nieuwe gemiddelde dwarspositie bepaald.

Kritische noot

Voor de gemiddelde dwarspositie in de buitenste rijstroken wordt verondersteld, dat deze in de buitenste helft liggen. Dit lijkt een redelijke veronderstelling. Voor de

middelste rijstroken wordt verondersteld, dat de gemiddelde positie in het midden van de strook ligt. Harde cijfers die dat bevestigen ontbreken tot dusver.

Wanneer een marge van 1.80 meter in vergelijking 5 wordt ingevuld blijkt de standaarddeviatie slechts 7 centimeter te zijn. Dit lijkt wat aan de lage kant. Verder wordt ervan uitgegaan, dat het koershouden op smallere rijstroken nauwkeuriger wordt. Deze veronderstelling lijkt aannemelijk, maar heeft geen goede kwantitatieve onderbouwing. (Mede omdat de bevindingen van Tenkink uit een experiment met de rijsimulator afkomstig zijn.)

3.3 Samengevat

In dit hoofdstuk is nagegaan hoe de simulatie (in MIXIC) van het verkeer op versmalde rijstroken van autosnelwegen verloopt. Daartoe is met het simulatiemodel eerst een aantal runs gedraaid, waarin, in opeenvolgende stappen, de rijstrookbreedte, de snelheidslimiet en de hoeveelheid verkeer zijn gevarieerd. Hierbij bleek dat de snelheidslimiet duidelijk meer effect heeft op de gereden snelheid dan de breedte van de rijstrook. Het gecombineerde effect is, zoals verwacht mag worden, sterker, maar lijkt niet helemaal overeen te komen met de werkelijkheid. Wanneer ook nog de intensiteit van het verkeer fors wordt verhoogd, worden situaties waargenomen, waarbij voertuigen elkaar (tijdelijk) niet voorbij rijden. Deze situatie wordt 'locking' genoemd.

Met dit globale beeld van het verkeer op smalle rijstroken, is vervolgens naar de modellering van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken gekeken. In verschillende modules zijn daarbij de veronderstelde gedragseffecten bij het rijden op autosnelwegen met versmalde rijstroken beschreven. Deze modules zijn kort samengevat en hier en daar van een aantal kritische noten voorzien.

Het blijkt dat in de meeste modules parameters gebruikt worden, die tot op heden nog onvoldoende aandacht hebben gekregen en daardoor nog niet gekwantificeerd kunnen worden. Zo is het nog onduidelijk in welke mate een getoonde snelheidslimiet wordt nageleefd of wat de gemiddelde positie in de rijstrook is. Verder lijkt een aantal modules beter op een andere manier gemodelleerd te kunnen worden, waardoor een realistischer simulatie mogelijk wordt. Hierbij moet dan gedacht worden aan de mate waarin een bestuurder zijn snelheid aanpast aan de rijstrookbreedte of aan de standaarddeviatie van de laterale positie in de vetergang.

In het volgende hoofdstuk zal mede op basis van de kritische noten de beschikbare literatuur doorgenomen worden. Geprobeerd wordt dan of er naast de reeds gebruikte literatuur (Hogema en Brouwer, 1999) meer literatuur bestaat, waarin de parameters of aspecten wel beschreven zijn.

4. Het literatuuronderzoek

Dit literatuuronderzoek moet nadrukkelijk als een aanvullend literatuuronderzoek worden gezien, op de reeds door Hogema en Brouwer (1999) uitgevoerde literatuurstudie naar de mogelijke gedragseffecten bij een dynamische rijbaanindeling met versmalde rijstroken. Deze studie wordt niet volledig bevonden, hetgeen aanleiding vormde tot het verrichten van een aanvullend literatuuronderzoek. De studie verricht door Hogema en Brouwer wordt hierbij als uitgangspunt beschouwd.

In dit aanvullende literatuuronderzoek wordt geprobeerd meer inzicht te krijgen in de factoren die het rij- en inhaalgedrag op autosnelwegen, al dan niet met versmalde rijstroken, beïnvloeden. Daarvoor zijn de databases van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en van het Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), en de Cd-rom 'Transport' geraadpleegd³. Ook de eigen bibliotheek van het TRB is geraadpleegd, maar leverde veelal dezelfde resultaten op als de cd-rom 'Transport'.

Om gericht informatie te verzamelen is eerst een lijst met aspecten van het rij- en inhaalgedrag opgesteld, waarover meer informatie gewenst is. Deze lijst is mede opgesteld aan de hand van de door Hogema en Brouwer uitgevoerde literatuurstudie en de kritische noten uit het vorige hoofdstuk. Met deze lijst als basis zijn de verschillende databases doorzocht. Dit heeft geresulteerd in een selectie van literatuur, welke informatie bevat met betrekking tot aspecten van het rij- en inhaalgedrag (op versmalde rijstroken) van autosnelwegen. Het resultaat van de literatuurstudie volgt verderop in dit hoofdstuk. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvatting van de belangrijkste bevindingen uit het literatuuronderzoek.

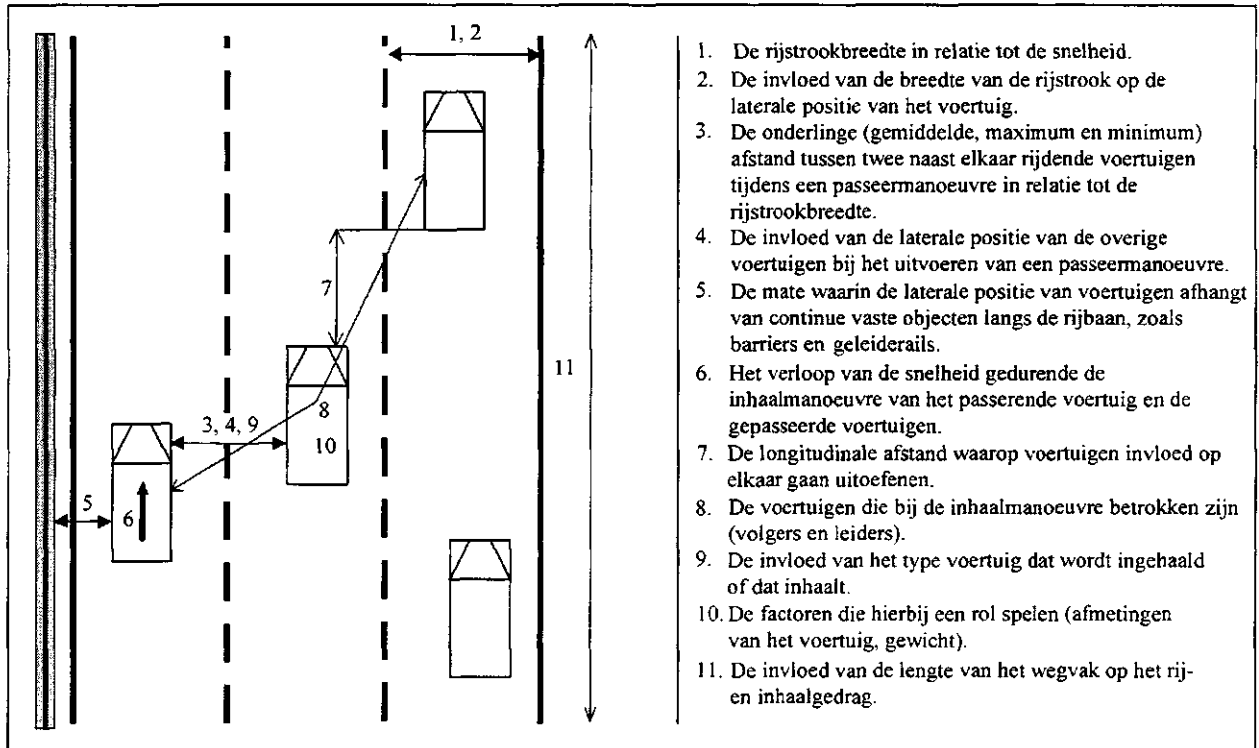
4.1 Onderzoeksvragen literatuurstudie

Om het zoeken naar specifieke informatie over het rij- en inhaalgedrag te vereenvoudigen, is in dit proces enige structuur aangebracht. Daartoe is, op basis van de literatuurstudie uitgevoerd door Hogema en Brouwer en de kritische noten uit het vorige hoofdstuk, nagegaan welke aspecten nog nadere aandacht behoeven en over welke aspecten er nog kennis ontbreekt. Tevens is nagegaan welke nog niet eerder beschreven aspecten van het inhaalgedrag nog meer in beschouwing moeten worden genomen. Dit heeft geresulteerd in de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is een acceptabele rijstrookbreedte in relatie tot de snelheid?
2. Wat is de invloed van de breedte van de rijstrook op de laterale positie van het voertuig?
3. Wat is de onderlinge (gemiddelde, maximum en minimum) afstand tussen twee naast elkaar rijdende voertuigen tijdens een passeermanoeuvre in relatie tot de rijstrookbreedte?
4. Is de actuele laterale positie van het gepasseerde dan wel van het passerende voertuig hierbij van invloed?
5. In welke mate hangt de laterale positie van voertuigen af van (continue) vaste objecten langs de rijbaan, zoals barriers en geleiderails?

³ De cd-ROM 'Transport' bevat een database van artikelen en onderzoeken die gerelateerd zijn aan de onderwerpen verkeer en vervoer. Deze cd-ROM is samengesteld door de OECD, TRB en EMCT.

6. Hoe verloopt de snelheid gedurende de inhaalmanoeuvre van het passerende voertuig en de gepasseerde voertuigen?
7. Op welke longitudinale afstand gaan voertuigen in aangrenzende rijstroken invloed op elkaar uitoefenen?
8. Welke voertuigen zijn bij de inhaalmanoeuvre betrokken (voorliggers en volgers)?
9. Wat is de invloed van het type voertuig dat ingehaald wordt of dat inhaalt?
10. En welke factoren spelen hierbij een rol (afmetingen van het voertuig, gewicht, kleur, model)?
11. Wat is de invloed van de lengte van het wegvak op het inhaalgedrag?



figuur 9. Te onderzoeken aspecten

4.2 Resultaten literatuurstudie

In deze paragraaf worden de resultaten van de literatuurstudie gepresenteerd. De resultaten worden daarbij in de volgorde van de onderzoeksvragen zoals bovenstaand is weergegeven gepresenteerd.

Wat is een acceptabele rijstrookbreedte in relatie tot een bepaalde snelheid?

In de Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen (1993) wordt bij een ontwerpsnelheid van 90 km/u een rijstrookbreedte van 3.25 meter aanbevolen. Deze aanbeveling is conform Europese afspraken.

In een (literatuur)studie van DHV (1994) wordt de rijstrookbreedte gerelateerd aan het koers houden (vetergang). Voor dit aspect wordt hierin verwezen naar Schopf en

Knoflacher. De eerste heeft gerapporteerd dat de kleinste afwijking van de rechte koers bij een snelheid van 90km/u optreedt bij een restbreedte van 1.10m. Dit komt overeen met een rijstrookbreedte van 2.85 meter. Over vrachtwagens rapporteerde Schopf, dat bij een restbreedte van 0.60 meter 85% niet sneller rijdt dan 80km/u. Dit komt overeen met een rijstrookbreedte van 3.20 meter. Knoflacher laat zien, dat bij een snelheid van 90km/u het koers houden goed mogelijk is bij een restbreedte van 0.50-1.50 meter met een optimum bij 0.85 meter (vergelijking 6). Zijn conclusie is, onafhankelijk van het percentage vrachtverkeer, dat bij een ontwerpsnelheid van 90km/u de rijstrookbreedte minstens 3.00 meter dient te bedragen.

$$A = 0.00176 * R^2 - 0.25 * R + 42.1 \quad (6)$$

waarin:

A amplitude (cm),
R restbreedte (cm).

Er kan dus gesteld worden dat een rijstrookbreedte van 3.00 meter bij een ontwerpsnelheid van 90km/u in principe veilig is. Wanneer rijstrookbreedtes smaller dan 3.00 meter worden toegepast, is een verlaging van de snelheidslimiet sterk aan te bevelen.

Heeft de breedte van de rijstrook invloed op de laterale positie van het voertuig?

In een experiment naar het effect van smalle rijstroken op de capaciteit van autosnelwegen heeft Cohen (1998) het volgende over de laterale posities geconstateerd. In de normale situatie rijdt het verkeer in de buitenste rijstroken het meest op de buitenste helft van de rijstrook en op de middelste rijstrook het meest links van het midden. Verder constateert Cohen dat de betrokken voertuigtypen van de invloed zijn op de laterale posities van de voertuigen. Dit blijkt uit de afstanden tussen de voertuigen op de middelste en linker rijstrook (tabel 2). In de gewijzigde situatie rijden de voertuigen in de buitenste rijstroken verder naar buiten.

Uit onderstaande tabel blijkt verder, dat de verschillen in laterale afstanden ten opzichte van de nominale afstand afnemen, maar dat de relatieve verschillen toenemen. Dit betekent dat de voertuigen op smallere rijstroken minder extra marge aanhouden, maar dat dit niet evenredig is met de afname van de rijstrookbreedte.

tabel 2. Gemiddelde laterale afstanden tussen voertuigen op de A6a bij Parijs (Cohen, 1998)

situatie	normaal profiel: 3.50-3.50-3.50				gereduceerd profiel: 3.00-3.00-3.25			
	gemeten [m]	nominaal [m]	(gemeten- nominaal) [m]	relatief [%]	gemeten [m]	nominaal [m]	(gemeten - nominaal) [m]	relatief [%]
auto – vracht	1.86	1.40	0.46	33	1.45	1.03	0.43	41
vracht – vracht	1.34	1.00	0.34	34	0.91	0.63	0.29	46
auto – auto – vracht	1.70	1.80	-0.10	6	1.19	1.40	-0.21	15
auto – vracht – vracht	1.67	1.40	0.27	19	1.15	0.90	0.25	28

In de studie die gewijd is aan de effecten van afwijkingen van de richtlijnwaarden ROA (DHV, 1994) wordt gesteld, dat het laterale afstandsgedrag van een bestuurder afhankelijk

is van de aanwezigheid van een vluchtstrook, de rijstrookbreedte, het voertuigtype en de rijnsnelheid.

De Waard (1990) heeft in zijn onderzoek (met standaard rijstroken) geconstateerd, dat op de rechter rijstrook meer rechts van het midden wordt gereden (22.2cm) en op de linker rijstrook meer links (5.2cm). Dit komt overeen met de constatering van Cohen.

Het blijkt dus dat de voertuigen in de buitenste rijstroken meer op de buitenste helft van de rijstrook rijden en in de middelste rijstrook meest links van het midden (althans, voor een 3-strooks rijbaan).

Wat is de onderlinge (gemiddelde, max. en min.) afstand tussen twee naast elkaar rijdende voertuigen tijdens een passeermanoeuvre?

De literatuur is hieromtrent redelijk eenstemmig (Cohen, 1998; Gunay, 1999; DHV, 1994; ROA, 1993; Hogema, 1999). De onderlinge afstand tussen twee personenauto's, bij standaard rijstrookbreedtes van 3.50 meter en een ontwerpssnelheid van 120km/u, bedraagt ongeveer 1.80 meter. Voor twee naast elkaar rijdende vrachtauto's bedraagt deze afstand in de praktijk ongeveer 1.40 meter. De ROA gaat echter uit van 1.00 meter voor twee elkaar passerende vrachtauto's.

In het reeds genoemde experiment van Cohen (1998) zijn waarden gepresenteerd van de gemiddelde onderlinge afstand tussen twee voertuigen (zie tabel 2). Opvallend is dat de gemeten laterale afstanden veelal groter zijn dan de nominale laterale afstanden. Dit geldt voor zowel de standaardsituatie als voor de gewijzigde situatie.

Gunay (1999) heeft in zijn onderzoek voor een bepaalde locatie een parabolische relatie gevonden tussen de snelheid en de laterale afstand tussen twee voertuigen (vergelijking 9). Hieruit blijkt dat als de afstand tussen de voertuigen toeneemt, ook de snelheid van (het passerende) voertuig toeneemt, met een optimum van ongeveer 1.50 meter. De snelheid is dan ongeveer 120km/u.

$$v = -24.6 * FC^2 + 73.7 * FC - 22.7 \quad (7)$$

waarin:

v snelheid (m/s),

FC Frictional Clearance= laterale afstand tussen de voertuigen (m).

Hoewel de ROA van kleinere waarden uitgaat, blijkt de onderlinge afstand tussen twee elkaar passerende personenauto's bij een standaard rijstrookbreedte ongeveer 1.80 meter te bedragen. Voor twee elkaar passerende vrachtauto's bedraagt de afstand ongeveer 1.40 meter. Gunay heeft aangetoond dat er een relatie bestaat tussen de snelheid van de voertuigen en de afstand die er tussen de voertuigen aanwezig is.

Is de laterale positie van de voertuigen hierbij van invloed?

Een figuur in het artikel van Gunay (1999) geeft hier wat duidelijkheid over. Hoewel er geen duidelijk verband is, kan wel gesteld worden dat bestuurders, ongeacht de positie van het voertuig in de aangrenzende rijstrook, een afstand van minstens 1.60-1.80 meter tot het voertuig in de aangrenzende rijstrook houden. Uit het figuur blijkt bijvoorbeeld dat als een

in te halen voertuig ver van de deelstreep verwijderd is, het inhalende voertuig meestal dichterbij de deelstreep rijdt. Gunay concludeert dan ook, dat de laterale positie van een voertuig op een rijstrook wordt beïnvloed door de laterale positie van het voertuig op de aangrenzende (rechter) rijstrook.

Wat is de invloed van vaste en stilstaande objecten langs de rijbaan op het rijgedrag van bestuurders?

Volgens Gunay (1999) zullen bestuurders eerder voor een object uitwijken dan dat zij hun snelheid zullen aanpassen. Zij zullen hun snelheid pas aanpassen op het moment, dat er op weerszijden van het voertuig dreiging wordt uitgeoefend. In dat geval zal de bestuurder eerst zijn voertuig in die positie brengen die hem totaal het minste discomfort geeft. Indien het discomfort dan niet volledig gecompenseerd wordt, zal de bestuurder de rest van het discomfort compenseren door zijn snelheid aan te passen.

Evenals in Gunay's artikel wordt ook in het rapport van DHV (1994) en de HCM (1994) een minimale obstakelafstand van 1.80 meter aangehouden in verband met het optreden van obstakelvrees, hetgeen de laterale positie van voertuigen beïnvloed.

De ROA zegt echter, dat de objectafstandvrees afhankelijk is van de snelheid en deze 1.50 meter bedraagt bij een ontwerpsnelheid van 120km/u en 1.00 meter bij een ontwerpsnelheid van 90km/u.

Jessurum e.a. (1990) ondervonden tijdens een experiment naar de beleving, waarneming en activatie op de A2, dat de gemiddelde laterale positie ter hoogte van een geluidsscherm sterk afweek van de rest van de meting. Hiermee wordt aangetoond, dat ook objecten verder van de rijbaan af invloed hebben de laterale positie van de voertuigen.

Curren (1995) komt niet verder dan een kwalitatieve beschrijving van het effect van een barrier op de positie van voertuigen in de aangrenzende rijstrook. Hij trekt de conclusie dat de laterale positie van een voertuig op de aangrenzende rijstrook beïnvloed wordt door de breedte van de rijstrook. Uit de resultaten bleek namelijk, dat de voertuigen op smallere rijstroken verder van de barrier af reden dan in de normale situatie, zonder dat de barrier verplaatst was.

Urbanik (1994) beschrijft een meting met een barrier op 1 foot⁴ van de kantstreep. De afwijking ten gevolge van de barrier op de gemiddelde dwarspositie van de voertuigen bedroeg eveneens 1 foot. Een eerste conclusie, die hieruit werd getrokken, was, dat de afstand tot een barrier van 2 feet voldoende zou zijn om de gemeten afwijking te compenseren.

Cohen vindt echter het tegenovergestelde. Als zowel de linker rijstrook als de linker kantstrook versmald worden, rijden bestuurders toch dichterbij de barrier.

De Vos (1998) vond in een experiment met de rijsimulator dat de gemiddelde positie onder invloed van een rechts van de rijstrook gesitueerde barrier van 0.08 meter links van het midden naar 0.43 meter links van het midden verschoof.

Dat een vast object invloed heeft op de positie van het voertuig in de aangrenzende rijstrook staat vast. Hoe sterk de invloed is, kan niet worden opgemaakt. Iedere auteur heeft daar klaarblijkelijk een eigen mening over (gebaseerd op de eigen resultaten) en ook de

⁴ 1 foot=0.305 meter

afstand van het vaste object tot van de rijbaan zal daarin een bepalende factor zijn. Interessant is de bevinding van Jessurum, dat ook objecten verder van de rijbaan af invloed hebben op de gemiddelde dwarspositie.

Hoe verloopt de snelheid tijdens de inhaalmanoeuvre van het passerende voertuig en het gepasseerde voertuig?

{geen informatie}

Op welke longitudinale afstand gaan voertuigen in de aangrenzende rijstroken invloed op elkaar uitoefenen?

In een studie naar het koershoudgedrag bij geprofileerde wegmarkeringen wordt voor vrij rijdende voertuigen 5 seconde aangehouden (van der Horst en Bakker, 1993). Ook in een onderzoek naar het verkeersproces op wegvakken bij werk in uitvoering (Schoorman, 1992) wordt de waarde van 5 seconden genoemd, met een absoluut verschil in de snelheid van beide voertuigen van maximaal 10km/u. Binnen deze waarden wordt het voertuig als volger beschouwd.

Gunay (1999) zegt dat wanneer een voertuig op meer dan 10 seconde volgt, het als 100% vrijrijdend wordt beschouwd. Is de volgtijd kleiner dan 3 à 4 seconden dan is het volgende voertuig volledig onder invloed van zijn leider. Wanneer een voertuig meerdere leiders heeft kiest hij voor de meest kritische leider. Dit hangt af van volgafstand en het snelheidsverschil tussen de voertuigen.

Minderhout (1999) hanteert in zijn model zelfs een volgtijd van 2 seconden, waarbinnen een voertuig volledig onder invloed is van zijn voorganger (car-following).

Bij een volgtijd van 5 seconden of meer blijkt een voertuig over het algemeen als vrij rijdend te kunnen worden beschouwd. Acties van zijn voorligger hebben onder normale omstandigheden dan geen invloed op de rijgedrag van de bestuurder.

Wat is de invloed van het type voertuig dat ingehaald wordt of dat inhaalt?

Uit het experiment van Cohen blijkt, dat vooral het vrachtverkeer op de middelste rijstrook invloed heeft op de dwarspositie van het inhalende voertuig op de linker rijstrook (meer naar links). Dit geldt voor zowel de normale als de gewijzigde situatie. Opvallend is dat de afstand tussen twee personenauto's en tussen een vrachtauto en een personenauto vrijwel even groot zijn (tabel 2, blz 31).

En welke factoren spelen hierbij een rol (voertuigafmetingen, gewicht, kleur, model)?

Urbanik (1994) noemt in zijn artikel het feit, dat bestuurders verder voor een barrier uitwijken wanneer deze zich aan de rechter zijde van het voertuig bevindt dan wanneer deze zich aan de linker zijde van het voertuig bevindt. Dit is het gevolg van beter 'zicht' vanaf de positie van de bestuurder op de linker kant van het voertuig dan op de rechter kant. Het is aannemelijk dat dit effect zich naast bij barriers ook bij voertuigen voordoet. In

dat geval is de positie van het passerende voertuig ten opzichte van het gepasseerde voertuig een factor (links of rechts).

Dit is een interessant punt, omdat in MIXIC vooral de factoren gewicht en breedte van het voertuig zijn beschouwd. In welke mate de factor 'positie ten opzichte van het in te halen voertuig' bijdraagt, wordt helaas in het artikel niet vermeld.

Wat is de invloed van de lengte van het wegvak op het inhaalgedrag?

Uit een Amerikaans onderzoek naar versmalde rijstroken, concludeert Curren, dat de lengte van een gewijzigd wegvak niet langer dan een mijl⁵ mag bedragen. Hij baseert deze conclusie op de toename van het aantal ongevallen dat op deze wegvakken plaatsvond. Het aantal ongevallen op ongewijzigde wegvakken was aanmerkelijk lager. Hierbij wordt niet vermeld in welke mate een extra rijstrook bijdraagt aan het verhoogde aantal ongevallen. Het blijkt bijvoorbeeld dat het aantal ongevallen per voertuigkilometer op rijbanen met drie of meer rijstroken groter is dan op rijbanen met twee rijstroken (SWOV, 1996). Cohen trekt een dergelijke conclusie over de maximale lengte van een gewijzigd wegvak niet. De lengte van het wegvak in zijn experiment bedroeg 2.5km. Wegwerkzaamheden die enige tijd geleden plaatsvonden op de A12 tussen De Meern en Woerden, hebben destijds niet tot problemen geleid (Besselink, bijlage I). De lengte van dit wegvak bedroeg ongeveer 6 kilometer.

Wat nu precies het effect van de lengte van het wegvak op het inhaalgedrag is, is niet duidelijk geworden. Waar wel rekening mee moet worden gehouden, is het feit dat het aantal ongevallen per voertuigkilometer op een 3-strooks rijbaan groter is dan op een 2-strooks rijbaan.

Welke voertuigen zijn bij de inhaalmanoeuvre betrokken?

Gunay (1999) onderscheidt verschillende combinaties van voertuiginteracties. Hierbij heeft een volgend voertuig 1, 2 of 3 (mogelijke) leiders. De 'echte' leider is dat voertuig dat de meest kritische situatie geeft.

Overige wetenswaardigheden

Tijdens de literatuurstudie zijn naast de reeds genoemde nog een aantal andere wetenswaardigheden gevonden, die wellicht bruikbaar zijn voor het inzicht in het rij- en inhaalgedrag van automobilisten. Deze zaken zullen hieronder worden belicht.

De drie niveaus van de rijtaak

De uitvoering van de rijtaak kent drie niveaus (De Waard e.a., 1990; Claassens en Pouwels, 1998; Hoedemaeker, 1999). Het laagste niveau is hierbij het operationele of regelniveau. Op dit niveau worden basisvaardigheden zoals accelereren, decelereren, koers houden en aflezen van het instrumentarium uitgevoerd. Deze vaardigheden zijn cognitief niet

⁵ 1 mijl = 1.6 kilometer

belastend, doordat de directe informatie (met het blote oog zichtbaar) uit de omgeving automatisch tot een response leidt. Deze vaardigheden kunnen derhalve eenvoudig parallel aan andere taken worden uitgevoerd.

Het middelste niveau wordt aangeduid als het tactische of manoeuvreniveau. Hieronder vallen gecontroleerde taken zoals het vermijden van obstakels, inhalen, afslaan en van rijstrook wisselen. Deze taken vragen om een beslissing. Het nemen van deze beslissing vergt een inspanning, waardoor de taak langzamer verloopt dan taken op het regelniveau. Het hoogste niveau is het strategisch of planniveau. Op dit niveau worden keuzes gemaakt met betrekking tot een verplaatsing, zoals met welke modaliteit wordt gereisd, welke route gaat gevolgd worden, maar ook de keuze van de kruissnelheid (wenssnelheid) valt hieronder.

Uit het bovenstaande kan worden opgemaakt dat een inhaalmanoeuvre duidelijk een manoeuvre is op het tactische niveau. Er wordt immers bewust een keuze gemaakt een voorliggend object te passeren. Tijdens de manoeuvre worden diverse acties op het operationele niveau uitgevoerd, zoals gas geven, sturen, e.d. De uitvoering van een inhaalmanoeuvre wordt deels beïnvloed door beslissingen op het strategische niveau. Een bestuurder wenst bijvoorbeeld binnen één uur van A naar B te reizen.

Volggedrag op smallere rijstroken

In de HCM (1994) wordt er een relatie gelegd tussen de rijstrookbreedte op autosnelwegen en de capaciteit. Bestuurders zullen op een grotere afstand volgen wanneer de (nominale) laterale afstand tussen twee voertuigen kleiner wordt. Hetzelfde effect treedt overigens op als de ruimte tussen een voertuig en bijvoorbeeld een barrière afneemt (<6ft). De relatie tussen de vrije ruimte en de rijstrookbreedte versus capaciteit is in de HCM weergegeven in een tabel.

Uitwijken in te halen voertuig

Cohen vermeldt in zijn artikel het fenomeen dat het voertuig, dat gepasseerd wordt, ook uitwijkt. Dit aspect verdient zeker enige aandacht. Het feit dat het voertuig dat gepasseerd wordt, uitwijkt voor het voertuig dat hem probeert te passeren, wijst erop dat een inhaalmanoeuvre niet een manoeuvre is die alleen door het inhalende voertuig wordt uitgevoerd, maar dat hier duidelijk sprake is van een interactie is tussen de betrokken voertuigen.

De belasting van de rijtaak

De zwaarte van de rijtaak wordt onder andere uitgedrukt in het aandeel hoogfrequente stuurbewegingen, in het aantal lijnoverschrijdingen en de time-to-linecrossing (TLC). Op smallere rijstroken neemt het aantal hoogfrequente stuurbewegingen toe. Dit duidt erop, dat het rijden op smallere rijstroken een extra inspanning vraagt ten opzichte van het rijden op rijstroken met een standaardbreedte (de Vos, 1998).

4.3 Samengevat

Om te beginnen moet geconcludeerd worden, dat er niet veel informatie beschikbaar is. Daarentegen kan wel gesteld worden, dat de literatuur op verschillende punten veelal met elkaar in overeenstemming is. Dat heeft in ieder geval als resultaat, dat de informatie

bruikbaar is. Onderstaand worden de belangrijkste bevindingen uit de literatuurstudie nog eens bondig gepresenteerd.

De ROA is met betrekking tot de rijstrookbreedte onder andere gebaseerd op Europese afspraken. Deze afspraken schrijven bij een ontwerpsnelheid 90km/u een breedte van de rijstroken van 3.25 meter voor. Indien hiervan afstand wordt genomen, kan bij een ontwerpsnelheid van 90km/u met een rijstrookbreedte van 3.00 meter volstaan worden. Het koershouden is dan nog steeds goed mogelijk.

Verder blijkt dat bestuurders in de buitenste rijstroken in de buitenste helft van de rijstrook rijden. In de middelste rijstroken lijken de bestuurders meer voor de linker helft van de rijstrook te kiezen.

Wat de laterale afstanden betreft, ondervinden de bestuurders van voertuigen bij een snelheid van 70 of 90km/u (in theorie) op een laterale afstand van ongeveer 1.00 meter noch hinder van vaste objecten langs de weg noch van andere (rijdende) voertuigen. Als bestuurders discomfort menen te ondervinden van een ander voertuig of vast object op een afstand kleiner dan 1.00 meter, proberen zij dit eerst te compenseren door hun positie aan te passen. De bestuurders zullen dat min of meer onbewust doen. Kunnen zij op deze manier het discomfort niet of niet volledig compenseren, dan zullen zij de rest van het discomfort compenseren door de snelheid aan de situatie aan te passen.

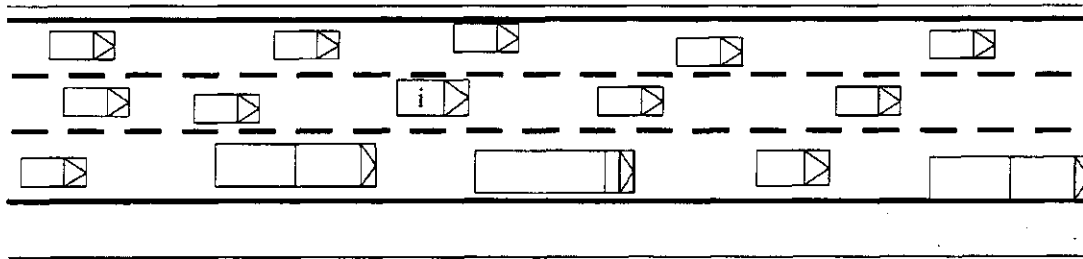
De mate van compenseren van het discomfort lijkt afhankelijk te zijn van het type object, dat gepasseerd wordt. Voor vrachtwagens wordt namelijk verder uitgeweken dan voor personenauto's. Verder zijn er duidelijke aanwijzingen, dat ook de breedte van de rijstrook van invloed is op de dwarspositie die bestuurders aanhouden. En ook de aanwezigheid van vaste objecten, zoals barriers, langs de rijbaan zijn van invloed op de dwarspositie die bestuurders binnen hun rijstrook kiezen.

Het passeren van andere voertuigen wordt beïnvloed door alledrie de niveaus van de rijtaak. Acties die de bestuurder hierbij min of meer onbewust uitvoert (sturen, gas geven, remmen), worden gerekend tot het operationele niveau. De beslissing om het voorliggende voertuig te passeren, is een actie die plaats heeft gevonden op het tactische niveau. Deze beslissing kan beïnvloed zijn door een beslissing op het strategisch niveau, waarbij de bestuurder met de auto met een bepaalde wenssnelheid van A naar B wil rijden.

In het volgende hoofdstuk zal de opgedane kennis worden samengevoegd tot een model, dat globaal het proces beschrijft, dat een bestuurder bij het een inhaalmanoeuvre uitvoert.

5. Het inhaalproces

In de voorgaande twee hoofdstukken is het inhaalgedrag, zoals dat in het bestuurdersmodel van MIXIC gemodelleerd is, beschreven en is door literatuuronderzoek meer en extra kennis verkregen betreffende de aspecten die het inhaalproces op smalle rijstroken beïnvloeden. In dit hoofdstuk wordt een beeld geschetst van het verloop van de inhaalmanoeuvre. Hiervoor wordt de kennis uit de voorgaande hoofdstukken geïntegreerd teneinde een modelmatige weergave van het inhaalproces te verkrijgen.



figuur 10. Rijbaan met versmalde rijstroken.

5.1 Het keuzeproces voor het passeren

Voordat een bestuurder een ander voertuig passeert, heeft de bestuurder vaak reeds een aantal processen doorlopen. Er moet dan gedacht worden aan processen zoals het volgen van andere voertuigen en het wisselen van rijstrook. In deze paragraaf wordt het inhaalproces te midden van deze processen geplaatst. Hiertoe wordt een voertuig beschouwd dat op een rijbaan met drie versmalde rijstroken rijdt.

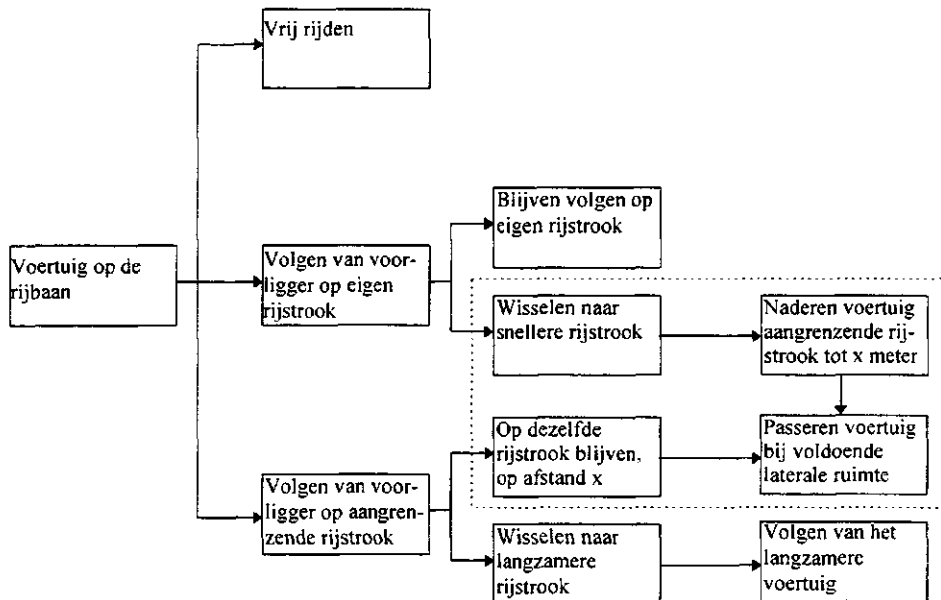
Wanneer een voertuig een volgtijd heeft ten opzichte van een voorliggend voertuig in dezelfde of aangrenzende rijstrook van 5 seconden of meer, wordt het als vrij rijdend verondersteld. De bestuurder van dit voertuig rijdt dan met een snelheid aangepast aan de rijstrookbreedte en de geldende snelheidslimiet (vergelijking 1, blz 23).

Bedraagt de volgtijd ten opzichte van een voorliggend voertuig in dezelfde rijstrook minder dan 5 seconden, dan wordt het voertuig als volger beschouwd. Als de volgtijd op het voorliggende voertuig minder dan 3 seconden bedraagt, worden bepaalde rijeigenschappen (aanpassen snelheid, remmen, gas geven) zelfs volledig door dit voorliggende voertuig bepaald. De volger kan nu twee acties ondernemen. Hij kan op dezelfde rijstrook blijven en op een gepaste afstand zijn voorganger volgen, indien hij het verschil tussen zijn wenssnelheid en de actuele snelheid onvoldoende groot acht om dit voertuig te passeren of op een andere rijstrook niet in staat is om harder te rijden. Of hij kan van rijstrook wisselen, indien hij de actuele snelheid te laag acht en op de aangrenzende rijstrook in staat is om harder te rijden. In dat geval zal dit voertuig zijn (ex)voorligger op de aangrenzende rijstrook naderen en vervolgens passeren.

Op smalle rijstroken bestaat ook de mogelijkheid dat een bestuurder een voertuig op de aangrenzende rijstrook (op korte afstand) volgt. Deze situatie ontstaat als het inhalende voertuig het voertuig in de aangrenzende rijstrook niet kan passeren. De voorliggende voertuigen zijn dan bijvoorbeeld te ver van hun koers afgeweken en/of te breed, waardoor er voor het inhalende voertuig te weinig laterale ruimte resteert. De bestuurder van het

inhalende voertuig kan nu het volgende doen. Of hij blijft het voertuig in zijn eigen rijstrook volgen, totdat hij de ruimte weer voldoende groot acht om zijn passeermanoeuvre te vervolgen. Of de bestuurder staakt zijn passeermanoeuvre en tracht naar de langzamere rijstrook te wisselen, waarna hij het voorliggende voertuig (volgens een bepaald model) volgt.

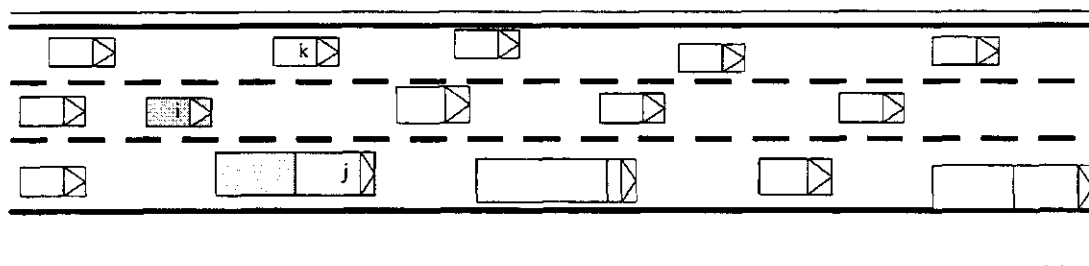
Het bovenstaande is in figuur 11 nog eens in een diagram weergegeven. Het omkaderde gedeelte heeft hierbij betrekking op het inhaalproces.



figuur 11. Het keuzeproces voorafgaand aan het inhalen

5.2 Het beslisschema tijdens het passeren

In figuur 13 (blz 42) is een gedetailleerd beslisschema van het inhaalproces gepresenteerd. In de onderstaande tekst zal dit proces nader worden toegelicht. Daarvoor wordt een voertuig *i* in een drukke verkeersstroom beschouwd. Gemakshalve wordt er vanuit gegaan dat alle voertuigen alleen de bruto rijstrookbreedte benutten. Er vinden dus geen lijnoverschrijdingen plaats. Deze veronderstelling lijkt gerechtvaardigd, gezien het feit dat het aantal ernstige lijnoverschrijdingen over het algemeen beperkt blijft (Cohen, Gunay, van der Horst).



figuur 12. Rijbaan met versmalde rijstroken

De inhaalmanoeuvre begint bij het naderen van de objecten j en/of k door voertuig i (figuur 12). De objecten j en k kunnen daarbij zowel bewegende (rijdend voertuig) als vaste of stilstaande (barrier, voertuig op vluchtstrook) objecten zijn. Verder bevindt het object met de aanduiding j zich altijd aan de rechter zijde van het voertuig en het object met de aanduiding k altijd aan de linker zijde.

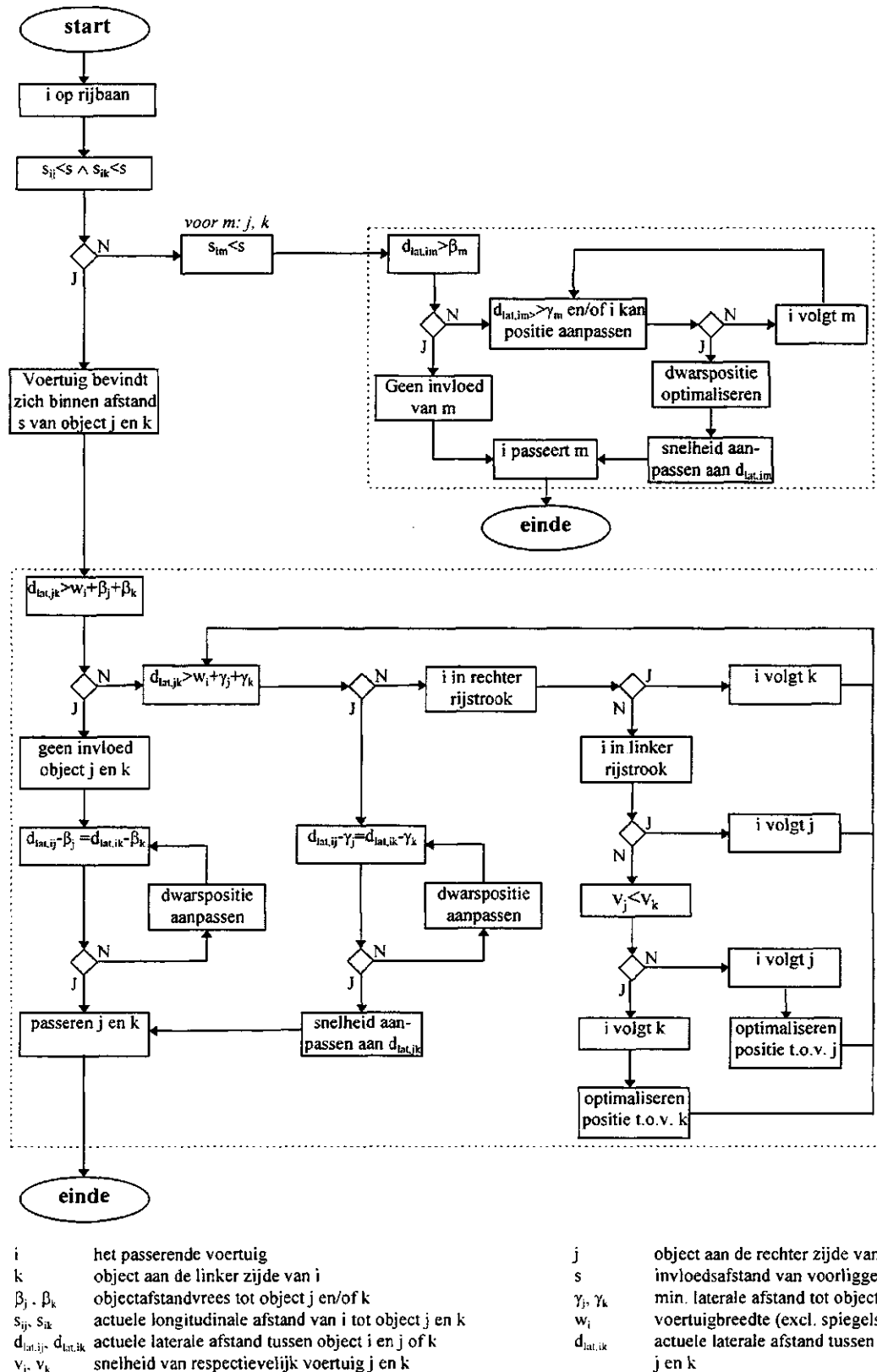
passeren van één object

Allereerst kijkt de bestuurder hoeveel objecten hij nadert. Nadert hij slechts één object, dan zal dat object zich ofwel rechts van hem bevinden (object j) ofwel links van hem (object k). De bestuurder schat vervolgens de laterale afstand tot dit voertuig in. Is deze afstand groter dan de objectafstandvrees β dan heeft het object geen invloed op het rijgedrag van de bestuurder. Is de actuele afstand echter kleiner dan de minimale marge γ die de bestuurder nog net accepteert, dan kijkt de bestuurder of hij de marge kan vergroten. Lukt dit niet dan zal de bestuurder het voertuig, dat hij wenst te passeren, op korte afstand x volgen. Net zolang totdat de afstand wel groot genoeg is om het voertuig te passeren. Kan de bestuurder de laterale afstand nog wel vergroten, dan zal hij zijn dwarspositie eerst zodanig aanpassen, dat het discomfort zo klein mogelijk is. De bestuurder maximaliseert daarbij de laterale afstand tussen zijn voertuig en het object, zonder daarbij de deel- of kantstreep te overschrijden. Ondervindt de bestuurder dan nog steeds discomfort dan past de bestuurder zijn snelheid aan, aan de laterale afstand die hem ter beschikking staat.

passeren van twee objecten

Als de bestuurder twee objecten binnen een zekere afstand s schat, dan wordt het proces als volgt verondersteld. De bestuurder probeert de beschikbare laterale ruimte tussen beide objecten te schatten ($d_{lat,jk}$). Als deze ruimte groter is dan de voertuigbreedte plus twee maal de objectafstandvrees dan kiest hij zijn dwarspositie zodanig dat beide objecten geen invloed op het rijgedrag (snelheid) uitoefenen.

Als de laterale afstand tussen de objecten j en k zodanig is, dat deze kleiner is dan de voertuigbreedte plus de minimale marge die hij tot beide objecten accepteert, dan zal hij, afhankelijk van de rijstrook waarop hij rijdt, een van de volgende keuzes maken: hij gaat object k volgen als hij op de rechter rijstrook rijdt (object j bevindt zich immers op de vluchtstrook); hij volgt object j indien hij op de linker rijstrook rijdt (object k is een barrier of geleiderail); hij volgt het snelste van de twee voertuig en maximaliseert de laterale afstand met het langzaamste voertuig, indien hij zich op de middelste rijstrook bevindt. Daartussen zit nog de situatie, dat er voldoende laterale ruimte is om te passeren, maar dat de objecten wel van invloed zijn op het rijgedrag (met name de passeersnelheid). De bestuurder van voertuig i kiest binnen de rijstrook een dwarspositie die hem het minste discomfort oplevert. Dit doet hij zodanig dat de laterale afstand ($d_{lat,ij} - \gamma_j$ en $d_{lat,ik} - \gamma_k$) tot beide objecten gelijk is. Verder probeert hij het discomfort als gevolg van kleine laterale afstanden te compenseren door zijn snelheid aan te passen.



figuur 13. Het beslisschema tijdens het inhaalproces

6. Leemten in de kennis

In de voorgaande hoofdstukken zijn de specificaties van MIXIC beschreven op basis waarvan een (aanvullende) literatuurstudie heeft plaatsgevonden. Door de kennis van de specificaties te combineren met de informatie uit het literatuuronderzoek, is een beeld ontstaan van het inhaalproces zoals een bestuurder dat mogelijk uitvoert. Dit proces is in hoofdstuk 5 beschreven. Het beslisschema dat hierbij is opgesteld, kent nog vele onbekende variabelen en bevat niet alle aspecten zoals deze voor MIXIC zijn gespecificeerd.

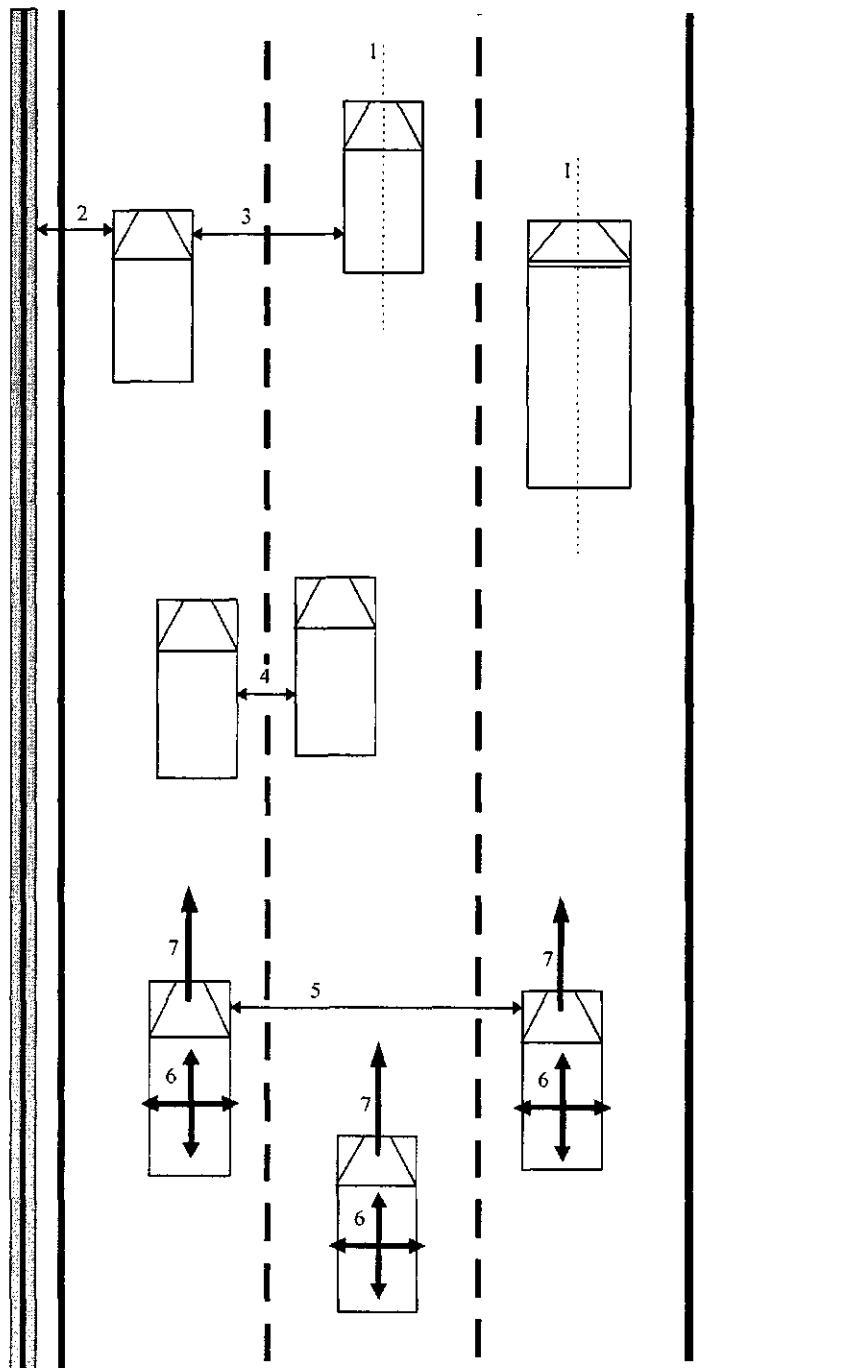
Hieronder volgt dan ook een definitieve lijst van aspecten van het rij- en inhaalgedrag, die nog verdere aandacht behoeven. Deze lijst vormt de basis van het onderzoek naar het rij- en inhaalgedrag van bestuurders op smalle rijstroken van autosnelwegen. Met de gegevens die hierbij verkregen worden, kunnen ook andere dan de genoemde aspecten bepaald worden. Op de volgende bladzijde zijn de aspecten nog eens in een figuur aangegeven.

Te onderzoeken aspecten

1. De gemiddelde laterale positie en de standaarddeviatie van de laterale posities van de voertuigen, uitgesplitst naar rijstrook en voertuigtype;
2. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de laterale positie per type voertuig in de linker rijstrook in relatie tot de afstand tussen de binnenkant kantstreep en een vast object;
3. De laterale positie per type voertuig in relatie tot de laterale afstand tot andere (typen) voertuigen in de aangrenzende rijstroken (hun onderlinge afstand en actuele posities);
4. De minimale laterale afstand (γ_j, γ_k) die bestuurders accepteren tot een bepaald type voertuig in de aangrenzende rijstrook (zowel links als rechts) of een vast element (links). Dit aspect zal in belangrijke mate afhangen van de gereden snelheid en de type objecten die bij de manoeuvre betrokken zijn;
5. Het kritische hiaat⁶ $d_{lat,jk,min}$ dat een bestuurder tijdens een passeermanoeuvre accepteert. Afgezien van het type bestuurder zal dit aspect afhankelijk zijn van de snelheid waarmee de betrokken voertuigen rijden, alsmede de typen objecten die bij de manoeuvre zijn betrokken;
6. De positionering van de voertuigen gedurende de inhaalmanoeuvre. Dit omvat zowel de laterale posities van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen als de longitudinale posities van deze voertuigen ten opzichte van elkaar;
7. Het snelheidsverloop van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen. Dit zal mede afhangen van het hiaat tussen twee voorliggende objecten, dat een bestuurder ter beschikking staat;

Het zal duidelijk zijn, gezien het kader waarbinnen dit onderzoek plaats vindt, dat alles zo veel mogelijk in relatie tot de rijstrookbreedte onderzocht wordt.

⁶ De minimale laterale ruimte, ofwel de minimale ruimte tussen twee voorliggende objecten, wordt in het vervolg van dit rapport aangeduid als het kritisch hiaat. De ruimte tussen twee voorliggende objecten wordt in het vervolg aangeduid als hiaat.



figuur 14. Definitief te onderzoeken aspecten

7. Inventarisatie meetsystemen

Er is nu vastgesteld welke gegevens ontbreken om het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen adequaat te beschrijven. Om deze gegevens vervolgens te verkrijgen zijn in dit hoofdstuk de instrumenten video-observatie, Differential Global Positioning System (DGPS), een geïnstrumenteerd voertuig, een rijsimulator, een enquête en een soort 'meetmat' geïnventariseerd. Van de methodes wordt onder andere nagegaan wat ermee gemeten kan worden en hoe nauwkeurig dat kan, hoe gegevens opgeslagen en verwerkt moeten worden, wat de beperkingen van de methode zijn, en wat globaal de kosten zijn.

Aan de hand van een aantal criteria worden de verschillende methodes vervolgens beoordeeld op de geschiktheid voor het verkrijgen van de gegevens. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beschouwing waarin de keuze voor één of samenstel van methodes wordt gemaakt.

7.1 Meetinstrumenten

7.1.1 Video-observatie⁷

Eenvoudig gezegd houdt het instrument video-observatie in dat op een bepaalde locatie met een camera videobeelden van het verkeer worden gemaakt. De verkregen videobeelden worden vervolgens op een later tijdstip uitgelezen, teneinde de gewenste gegevens te verkrijgen.

Het grote voordeel van video-observatie ten opzichte van de andere geïnventariseerde meetinstrumenten is, dat de bestuurders niet beïnvloed worden door de wetenschap dat zij geobserveerd worden. Van de bestuurders mag dan verwacht worden, dat zij hun natuurlijke rijgedrag tonen.

Helaas zijn video-observaties alleen goed bruikbaar, wanneer de afstand tussen de camera en het geobserveerde object niet al te groot is. Immers, de nauwkeurigheid neemt af naarmate de afstand tot de camera toeneemt. Daarom is het niet mogelijk met één camera een hele inhaalmanoeuvre vast te leggen. Het is natuurlijk mogelijk om meerdere camera's te plaatsen, waardoor de geobserveerde lengte toeneemt. Maar, dit zal veelal toch onvoldoende blijken te zijn om voldoende volledige inhaalmanoeuvres in beeld te brengen. Het instrument video-observatie is daarom alleen geschikt om de laterale posities van en de laterale afstanden tussen de voertuigen te meten.

Om zo scherp mogelijke beelden te verkrijgen, wordt aanbevolen de beelden vanaf een zeer stabiele locatie boven het meetvak te maken (bijvoorbeeld een viaduct) en de camera's onder een kleine hoek met de normaal te plaatsen.

De videobeelden kunnen na afloop van de opnamen met behulp van een beschikbaar softwarepakket geanalyseerd worden. De uitgelezen gegevens worden hierbij automatisch opgeslagen, waarna deze direct bruikbaar zijn voor verdere bewerking in bijvoorbeeld een spreadsheet.

⁷ Voor de toepassingsmogelijkheden van de video-observatie is contact opgenomen met dhr. Landman van de sectie Verkeerskunde van de faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen (TU Delft).

tabel 3. Inventarisatie meten met video

	Info
Nauwkeurigheid meetgegevens	-(laterale) positie van het voertuig in ± 5 centimeter, -snelheid van een voertuig wordt nog geverifieerd.
Afstand waarover gemeten kan worden	50-100 meter om de nauwkeurigheid te garanderen.
Te meten grootheden	-positie bepaling in x- en y-vlak, -voertuiglengte (afhankelijk van de positie van de camera), -snelheid van de voertuigen, -snelheidsverloop en laterale posities zijn af te leiden.
Inwinning basisgegevens	M.b.v. een softwarepakket worden de gegevens uitgelezen en de resultaten automatisch opgeslagen.
Verwerking gegevens	De gegevens kunnen met een spreadsheet bewerkt worden, teneinde de gewenste resultaten te verkrijgen.
Toepassingsmogelijkheden	Verkrijgen van gegevens waarbij bestuurders niet of nauwelijks beïnvloed worden. Veel waarnemingen van veel bestuurders (één waarneming per bestuurder).
Beperkingen	-een vlakke weg is een vereiste, -de weg moet goed zichtbaar zijn.
Kosten	Het totale onderzoek bedraagt ongeveer f50.000,-
Beschikbaarheid apparatuur	in principe direct beschikbaar.

7.1.2 Differential Global Positioning System^{*}

Het Global Positioning System (GPS) is een systeem dat oorspronkelijk uitsluitend voor militaire doeleinden werd gebruikt. Het GPS is daarbij gebruikt om de posities van objecten te bepalen. Tegenwoordig wordt het GPS ook voor commerciële doeleinden gebruikt. De precisie waarmee een goed (commercieel) GPS-systeem de positie bepaald, is ongeveer 15 meter. Dit is onvoldoende nauwkeurig om in dit onderzoek toe te passen. Een nauwkeuriger systeem is het Differential Global Positioning System (DGPS). Met dit systeem wordt de positie, die verkregen wordt met behulp van satellieten, gerefereerd aan een vast baken. Van dit baken is de exacte locatie bekend, nadat de positie van het baken is uitgemeten. Daardoor is het mogelijk met een nauwkeurigheid van circa 5 centimeter de positie van bijvoorbeeld een voertuig te bepalen. De afstand tussen twee naast elkaar rijdende voertuigen kan zelfs met een nauwkeurigheid van 2 à 3 centimeter bepaald worden.

Toepassing van DGPS lijkt vooral mogelijkheden te bieden indien meerdere voertuigen met dit systeem worden uitgerust. Doordat van meerdere voertuigen de posities en de snelheden worden bijgehouden, kan achteraf de interactie tussen de voertuigen bepaald worden in reeds beschreven termen als onderlinge posities, relatieve snelheid e.d. Een vereiste is wel dat de voertuigen bij elkaar blijven rijden.

Omdat de uitgeruste voertuigen als stipjes in een oneindig groot vlak bewegen, is het van belang om over (digitale) kaarten te beschikken. Pas dan wordt duidelijk welke positie de voertuigen op de weg hebben. Deze kaarten zijn voor de rijkswegen in Nederland beschikbaar en hebben een nauwkeurigheid van 1 à 2 centimeter in laterale richting. Eventueel bestaat er ook de mogelijkheid om extra kaarten aan te laten maken, indien het aangewezen proefvak niet op de bestaande kaarten ingemeten is.

^{*} Voor informatie over de mogelijkheden om het rij- en inhaalgedrag te meten met behulp van het Global Positioning System, is contact opgenomen met o.a. dhr. M.A.A. Ausems van de Meetkundige Dienst in Delft.

tabel 4. Inventarisatie meten met DGPS

	Info
Nauwkeurigheid meetgegevens	Met de betere systemen tot 5 centimeter voor de positie van de voertuigen. Voor de onderlinge posities tussen voertuigen is de nauwkeurigheid 2 à 3 centimeter. De snelheid wordt in km/u nauwkeurig bepaald.
Afstand waarover gemeten kan worden	Het bereik van een baken is 20-30km. De bakens die gebruikt worden zijn mobiel.
Te meten grootheden	-real-time x en y , -snelheid(sverloop), -indien meerdere voertuigen zijn uitgerust, zijn onderlinge posities in de tijd te bepalen.
Inwinning gegevens	De gegevens worden on-line verzameld en automatisch met een frequentie van 1-10Hz opgeslagen.
Verwerking gegevens	Met een voor Excel beschikbaar macro zijn de gegevens eenvoudig te analyseren. Ook indien meerdere voertuigen zijn uitgerust. De gegevens worden dan in de tijd gesynchroniseerd.
Toepassingsmogelijkheden	Vooraf wanneer meerdere voertuigen worden uitgerust, wordt inzicht verkregen in de interactie tussen de (uitgeruste) voertuigen.
Beperkingen	-de locatie moet open zijn, i.v.m. ontvangst van de signalen, -aantal ontvangers waarover beschikt kan worden, -beïnvloeding van de proefpersoon.
Kosten	f500,- per dag per set (set= baken + ontvanger) plus de kosten voor ondersteuning bij het opzetten en eventueel uitvoeren van de meting. Een extra ontvanger kost ongeveer f250,- per dag. De kosten van een compleet experiment bedragen globaal f250.000,- voor één enkele locatie.
Beschikbaarheid apparatuur	de Meetkundige Dienst beschikt over een aantal ontvangers, die na afspraak binnen enkele maanden beschikbaar zijn.

7.1.3 Geïnstumenteed voertuig

Geïnstumenteerde voertuigen worden onder andere gebruikt om inzicht te krijgen in het rij- en kijkgedrag van bestuurders in het verkeer. Op basis van gegevens zoals het koershouden, het percentage hoogfrequente stuurbewegingen en de fixaties van de ogen krijgt men inzicht in de complexiteit van de rijtaak op bepaalde wegvakken. Tegenwoordig wordt een geïnstumenteed voertuig ook veel gebruikt voor het testen van rijtaakondersteunende systemen zoals Adaptive Cruise Control, Intelligent Speed Adaptor en Lane Departure Warning System.

Voor dit onderzoek zijn alleen de geïnstumenteerde voertuigen van het COV in Groningen en van TNO Technische Menskunde geïnventariseerd. Cohen (1998) en Brackstone (1999) attenderen namelijk beiden op de verschillen in het rijgedrag tussen bestuurders uit verschillende landen. Het risico bestaat dan, dat de resultaten van metingen in het buitenland niet representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

Geïnstumenteed voertuig van het COV

Het geïnstumenteerde voertuig van het COV is zodanig uitgerust, dat het niet alleen de snelheid, de acceleratie en koers van het voertuig registreert, maar daarnaast ook de

⁹ Het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie, kortweg COV, van de Rijksuniversiteit Groningen is in het bezit van een geïnstumenteed voertuig. Voor nadere informatie over dit voertuig is contact opgenomen met dhr. Brookhuis.

belasting van de rijtaak meet. Dit laatste gebeurt door het meten van bijvoorbeeld de hartslag, de stuurcorrecties en de fixaties van de ogen. Aan deze laatste aspecten wordt vooralsnog geen aandacht besteed.

De toepassingsmogelijkheden van dit voertuig in dit onderzoek is, dat met dit voertuig met grote nauwkeurigheid de koers van het voertuig is vast te leggen. De gegevens van de rit worden daarbij gedurende de rit van seconde tot seconde geregistreerd. Helaas is het niet goed mogelijk de laterale afstand tussen het geïstrumenteerde voertuig en een ander voertuig op de aangrenzende rijstrook te bepalen. Eventueel kan dit probleem gedeeltelijk ondervangen worden door in het voertuig camera's dwars op de rijrichting te plaatsen. Deze beelden kunnen dan achteraf geanalyseerd worden.



figuur 15. Geïstrumenteerd voertuig COV

tabel 5. Inventarisatie meten met geïstrumenteerd voertuig

Info	
Nauwkeurigheid meetgegevens	De (laterale) positie van het voertuig wordt in centimeters nauwkeurig en de snelheid in km/u nauwkeurig geregistreerd.
Afstand waarover gemeten kan worden	In tijd circa 10 minuten, hetgeen overeenkomt met 15 kilometer bij druk verkeer en een eventuele snelheidslimiet.
Te meten grootheden	-afstand tot voorligger, -snelheid, -positie binnen de rijstrook, -stuurcorrecties (optioneel), -hartslag (optioneel), -oogfixaties (optioneel).
Inwinning gegevens	Automatisch worden de gewenste gegevens 1 maal per seconde opgeslagen. Gegevens van de laterale posities t.o.v. elkaar volgen eventueel na bewerking van de videobeelden.
Verwerking gegevens	Een aantal gegevens is direct beschikbaar, andere gegevens volgen uit een analyse van de gegevens met behulp van een spreadsheet.
Toepassingsmogelijkheden	Geschikt voor individuele metingen op de openbare weg.
Beperkingen	-opvallendheid van het voertuig. -beïnvloeding van de proefpersoon
Kosten auto	De kosten van de auto bedragen circa f175,- per uur (excl. proefpersoon). De kosten voor een volledig onderzoek liggen in de orde van grote van f100.000,- per locatie.
Beschikbaarheid apparatuur	Na overleg

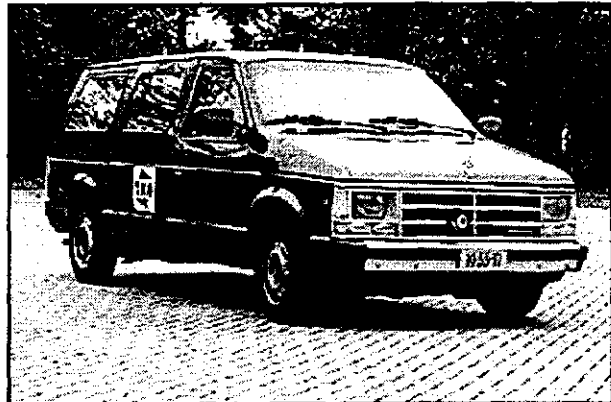
Geïstrumenteerd voertuig TNO-TM¹⁰

Het onderzoeksinstituut TNO Technische Menskunde is eveneens in het bezit van een geïstrumenteerd voertuig. De ICACAD (Instrumented Car for Computer Assisted Driving) is ontworpen om te onderzoeken, wat de invloed is van en reacties zijn op rijtaakondersteunende systemen op het rijgedrag van bestuurders. De mogelijkheden van

¹⁰ Voor inlichtingen betreffende het geïstrumenteerde voertuig van TNO-TM is contact opgenomen met dhr. de Vos.

dit voertuig voor toepassing in dit onderzoek naar de voertuiginteractie op versmalde rijstroken van autosnelwegen zijn min of meer hetzelfde als van het geïnstrumenteerde voertuig van het COV. Echter, kan dit voertuig wel zodanig uitgerust worden dat de laterale afstanden tussen voertuigen onderling te meten zijn. Dit is dan alleen de laterale afstand wanneer beide voertuigen naast elkaar rijden.

Ook bestaat er de mogelijkheid om van meerdere voertuigen de laterale posities te meten (deze kunnen dan later worden vergeleken). De voertuigen worden dan met hetzelfde positiebepalingssysteem uitgerust, dat ook in de ICACAD wordt gebruikt (ten opzichte van de kant- of deelstreep). Omdat slechts enkele



figuur 16. ICACAD

voertuigen met deze apparatuur uitgerust kunnen worden, betekent dit wel dat het experiment onder zekere condities uitgevoerd moet worden. Zo zullen de voertuigen bij elkaar moeten blijven rijden en ook zullen steeds dezelfde voertuigen moeten worden ingehaald. Dit vormt enig bezwaar. Een ander bezwaar van de ICACAD is zijn

tabel 6. Inventarisatie meten met de ICACAD

Info	
Nauwkeurigheid meetgegevens	De (laterale) positie van het voertuig in centimeters nauwkeurig. De nauwkeurigheid van de laterale afstand tussen twee voertuigen is afhankelijk van de gebruikte apparatuur. En de snelheid van het voertuig wordt in km/u nauwkeurig geregistreerd.
Afstand waarover gemeten kan worden	lengte van het wegvak.
Wat wordt gemeten	-positie in de rijstrook, -volgafstand (en volggedrag), -snelheid, -eventueel de laterale afstand tot een naastliggend voertuig of vast object, -stuurgedrag, -hartslag en oogfixaties (optioneel), -invloed van informatiesystemen (EURO-project)
Inwinning gegevens	De direct gemeten basisgegevens worden met een frequentie van 10 Hz opgeslagen.
Verwerking gegevens	De meeste gewenste gegevens kunnen eenvoudig met behulp van een spreadsheet uit de basisgegevens verkregen worden.
Toepassingsmogelijkheden	-onderzoeken van de rijtaakbelasting in bepaalde situaties, -meten van het individuele gedrag in de verkeersstroom.
Beperkingen	-laterale positie is afhankelijk van de afwijkingen van de kant-/deelstreep, -opvallendheid van het voertuig, -beïnvloeding van de proefpersonen
Kosten experiment	De totale kosten voor het onderzoek liggen in de orde van grootte van f100.000,- per locatie.
Beschikbaarheid apparatuur	Na overleg.

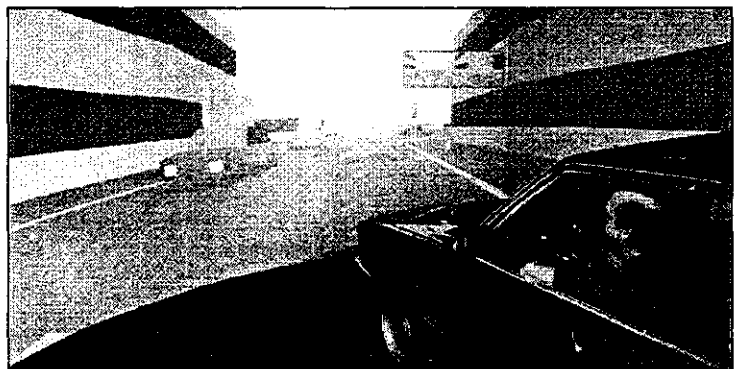
opvallendheid vanwege de zichtbare apparatuur. Dit is dan ook één van de redenen dat TNO-TM in het bezit is van een tweede onopvallende geïnstrumenteerde auto. Met deze auto kunnen vrijwel dezelfde metingen worden gedaan als met de ICACAD.

7.1.4 Interactieve rijsimulator

Met een interactieve rijsimulator worden de eigenschappen van een laboratoriuminstrument voor gedragsonderzoek met de eigenschappen van een taakomgeving, zoals een bestuurder deze ervaart, gecombineerd. Een interactieve rijsimulator is daarmee bij uitstek geschikt voor onderzoek naar het rijgedrag van bestuurders in specifieke situaties. Daarnaast wordt een rijsimulator ook gebruikt als middel voor training en opleiding. Het instrument bestaat eenvoudig gezegd uit een projectiescherm en een mock-up, waarin de proefpersoon plaats neemt. Op het projectiescherm worden dan de gesimuleerde omgeving en verkeerssituatie geprojecteerd. De proefpersoon bestuurt zijn voertuig dan vanuit de mock-up. De voordelen van het gebruik van een rijsimulator zijn dat iedere gewenste wegconfiguratie onderzocht kan worden, dat de omstandigheden en de situaties die de proefpersonen tegenkomen voor elk gelijk (kunnen) zijn en dat kritische situaties onderzocht kunnen worden zonder dat daarbij sprake is van ernstige gevolgen. Naast de genoemde voordelen hebben rijsimulators, afhankelijk van het soort onderzoek, beperkingen wat betreft de absolute validiteit van de resultaten. Dit houdt in, dat de resultaten van een meting met de rijsimulator kunnen afwijken van de resultaten van een meting in de werkelijkheid. De belangrijke reden hiervoor is, dat het rijden in een rijsimulator net even anders is dan het rijden in de werkelijkheid. De bewegingen en de besturing van het voertuig in de rijsimulator zijn namelijk niet helemaal conform de werkelijkheid (afhankelijk van het soort rijsimulator: fixed-base of moving-base). De relatieve validiteit van de resultaten is niettemin over het algemeen wel correct (Hoedemaeker, 1999). Dat betekent, dat er een vaste verhouding bestaat tussen de resultaten uit de rijsimulator en de resultaten uit werkelijkheid. Voor het juist interpreteren van de resultaten kan het daarom wenselijk zijn een referentiemeting op de openbare weg te verrichten. Met de resultaten hiervan kan dan de relatieve validiteit worden bepaald. Binnen Nederland kan beschikt worden over twee rijsimulators: een fixed-base rijsimulator van het COV in Groningen en een moving-base rijsimulator van TNO Technische Menskunde in Soesterberg. Beide worden onderstaand toegelicht.

Rijsimulator van het COV¹¹

Het COV beschikt naast een geïnstrumenteerd voertuig ook over een fixed-base rijsimulator. Met deze rijsimulator kunnen diverse wegconfiguraties worden gesimuleerd, waarbij tevens met verschillende scenario's kan worden gevarieerd. Andere voordelen van het toepassen van de rijsimulator zijn dat er voor het



figuur 17. Rijsimulator COV (Groningen)

¹¹ Bij het COV van de Rijksuniversiteit Groningen beschikken ze eveneens over een rijsimulator. Voor nadere informatie hierover is contact opgenomen met dhr. P.C. Wolffenaar.

verrichten van een meting geen rekening hoeft te worden gehouden met het tijdstip waarop gemeten wordt en dat de gegevens direct beschikbaar zijn.

Omdat de mock-up niet beweegt, vermindert dit de interactie tussen het voertuig, de bestuurder en de weg. Dit heeft overigens voornamelijk invloed op bochtige wegen en niet zozeer op (vrijwel rechte) autosnelwegen.

tabel 7. Inventarisatie meten met rijsimulator COV

	Info
Nauwkeurigheid meetgegevens	De posities van en de afstanden tussen de voertuigen worden in centimeters nauwkeurig geregistreerd. De snelheden worden in km/u nauwkeurig geregistreerd.
Afstand waarover gemeten kan worden	Lengte van het wegvak.
Wat wordt gemeten	-snelheid, -versnellingen, -positie, -positie t.o.v. andere voertuigen, -belasting van de rijtaak.
Inwinning gegevens	De gegevens die gewenst zijn, worden automatisch met een gewenste frequentie opgeslagen.
Verwerking gegevens	Met een beschikbaar softwarepakket zijn de verkregen gegevens eenvoudig te analyseren en de resultaten te presenteren.
Toepassingsmogelijkheden	-vrijwel iedere weg is te specificeren (rijstrookbreedte, aantal rijstroken), -verschillende scenario's kunnen onderzocht worden.
Beperkingen	-De validiteit van de simulator, waardoor de resultaten verhoudingsgewijs van de werkelijkheid kunnen afwijken. Een referentiemeting moet uitwijzen of er sprake is van relatieve validiteit. -Beïnvloeding van de proefpersonen.
Kosten	De kosten voor het gebruik van de rijsimulator bedragen circa f1500,- per dag. De kosten voor een compleet onderzoek, hangt af van de duur van het onderzoek en het aantal proefpersonen. Globaal liggen de kosten rond de f200.000,-per locatie.
Beschikbaarheid apparatuur	na overleg.

Rijsimulator TNO-TM²

De rijsimulator van TNO-TM is een moving-base rijsimulator. Dit betekent dat de mock-up, waarin de bestuurder plaats neemt, beweegt en reageert op de handelingen die de bestuurder verricht (remmen, gas geven, sturen). Het bewegingssysteem van de mock-up kent daarbij zes vrijheidsgraden, waardoor het rijden in de simulator een stuk realistischer wordt.

De mogelijkheden van de rijsimulator zijn op vele punten gelijk aan die van het COV. Zo kan met deze rijsimulator



figuur 18. Rijsimulator TNO-Technische Menskunde

²Bij TNO-TM is men naast twee geïnstrumenteerde voertuigen ook in het bezit van een rijsimulator. Voor de mogelijkheden van deze rijsimulator is contact opgenomen dhr. de Vos.

eveneens elke gewenste wegconfiguratie onderzocht worden, is nagenoeg alles te meten, zijn er verschillende scenario's op te geven en kan het (rij)gedrag van de overige weggebruikers naar wens ingesteld worden. Door telkens één factor te variëren, kan goed de invloed van verschillende factoren op het inhaalgedrag worden onderzocht (bijvoorbeeld de invloed van nabije voertuigen op het rijgedrag in relatie tot rijstrookbreedte met en zonder een barriër).

tabel 8. Inventarisatie meten met rijsimulator TNO-TM

	Info
Nauwkeurigheid meetgegevens	Alle gegevens worden tot op de komma nauwkeurig geregistreerd.
Afstand waarover gemeten kan worden	Lengte van het wegvak.
Wat wordt gemeten	-vele aspecten meetbaar (zoals snelheden, posities, etc.), -ook alle gegevens van de omringende voertuigen kunnen worden opgeslagen.
Inwining gegevens	Zoals reeds is aangegeven, worden de gegevens van het geobserveerde voertuig en de omringende voertuig geregistreerd, met een vooraf opgegeven frequentie.
Verwerking gegevens	Met een eenvoudig zelf te schrijven programma kunnen de gewenste gegevens worden verkregen.
Toepassingsmogelijkheden	-vrijwel iedere weg is te specificeren (rijstrookbreedte, aantal rijstroken), -verschillende scenario's kunnen worden opgegeven.
Beperkingen	-De validiteit van de rijsimulator. Hierdoor wijken de resultaten waarschijnlijk iets van de werkelijkheid af. Een referentiemeting in de werkelijkheid kan laten zien in hoeverre er sprake is van relatieve of absolute validiteit. -Beïnvloeding van de proefpersonen.
Kosten	Het gebruik van de rijsimulator kost circa f400,- per uur. De kosten van een volledig onderzoek hangen af van de grootte van het onderzoek. De kosten bedragen ongeveer f175.000,-.
Beschikbaarheid apparatuur	Na overleg.

7.1.5 Enquête

De enquête is duidelijk een ander soort meetinstrument. Er worden geen 'harde' kwantitatieve metingen mee verricht, maar er worden meest kwalitatieve gegevens mee verkregen. De enquête is daarmee niet minder geschikt om omtrent een aantal aspecten meer inzicht te kunnen krijgen. De resultaten uit de enquête kunnen daarnaast gebruikt worden om bepaalde waarnemingen in de verkeersstroom te verifiëren. Daarmee kan een enquête een waardevolle aanvulling zijn op het verkrijgen van inzicht in het rij- en inhaalgedrag van bestuurders.

Bij een meting met de rijsimulator wordt vaak al gebruik gemaakt van een vragenlijst. Dit hulpmiddel wordt dan veelal gebruikt om feedback te krijgen van die personen die juist daarvoor in de rijsimulator met een experimentele situatie zijn geconfronteerd. Deze feedback is vaak zeer nuttig en kan op zeer eenvoudige wijze worden verkregen.

7.2 Het beste meetinstrument

In deze paragraaf worden de meetinstrumenten naast elkaar gezet, teneinde er de meest geschikte uit te kiezen. De instrumenten zullen daarbij aan de hand van een aantal criteria, waarvan de meeste reeds in voorgaande tabellen zijn genoemd, worden getoetst. Er wordt hierbij geen gebruik gemaakt van ingewikkelde multicriteria-evaluaties met gewogen sommaties en dergelijke, maar simpelweg van een rationele beoordeling van de instrumenten per criterium. Aan de hand van een scorekaart wordt middels een

beschouwing over de sterke en zwakke punten van de verschillende meetinstrumenten de keuze voor één of wellicht meerdere instrumenten gemaakt.

7.2.1 De criteria

In deze subparagraaf worden de criteria beschreven, waaraan de instrumenten getoetst worden.

Ten eerste de *nauwkeurigheid* van de meetinstrumenten. Wanneer de rijstrookbreedtes en misschien beter nog de netto rijstrookbreedtes smaller worden, wordt de nauwkeurigheid steeds belangrijker. Immers, als de voertuigen zich alle binnen een smalle strook van circa 20 centimeter blijken te bevinden, valt er met een nauwkeurigheid van het instrument van 10 centimeter weinig over de eigenschappen van de individuele laterale posities of de onderlinge laterale afstanden te zeggen.

Het tweede criterium waaraan getoetst wordt is de *afstand waarover gemeten kan worden*. Des te langer het traject is, des te meer inzicht wordt er verkregen in het rij- en inhaalgedrag van een bestuurder op een bepaald wegvak. Vooral het waarnemen van volledige manoeuvres is daarbij zeer belangrijk.

Het derde criterium heeft betrekking op de *inwinning van de gegevens*. Het gaat dan voornamelijk om de complexiteit bij het verkrijgen van de gewenste gegevens. Daarbij moet gedacht worden aan de voorbereidingen die getroffen moeten worden, alvorens de meting te kunnen uitvoeren (programmeren of afstellen van apparatuur) en de tijd die het kost om over de (basis)gegevens te beschikken (eerst uitlezen van videobeelden).

Het vierde criterium betreft de eenvoud van de *verwerking van de gegevens*. Bij dit criterium gaat het met name om de noodzakelijke bewerkingen om bruikbare resultaten uit de gegevens te verkrijgen. Het kan zijn dat er nauwelijks enige bewerking van de gegevens noodzakelijk is, of dat een macro voor een spreadsheet beschikbaar is. Dit heeft dan een positief effect op de tijd (en kosten) die voor de bewerking nodig is, hetgeen zorgt voor een goede score op dit criterium.

Elk meetinstrument heeft zijn *beperkingen*. Dit kan te maken hebben met het verzenden van data, of met eisen die aan de omgeving of de weg worden gesteld, alsmede met de validiteit van de verkregen resultaten.

Een ander belangrijk criterium is, *welke gegevens* er met het instrument gemeten kunnen worden (zie tabel 9). Hoe meer verschillende gegevens met één instrument gemeten kunnen worden, des te beter het instrument scoort.

Het laatste criterium, waaraan de instrumenten getoetst worden, is de *kosten*. De kosten kunnen de doorslag geven een bepaald instrument wel of niet te kiezen. Tot het criterium kosten behoren onder andere de kosten voor het voorbereiden van het onderzoek, de kosten voor het huren van de apparatuur, een vergoeding voor de begeleiding van het onderzoek, kosten voor het laten uitvoeren van de analyse, een vergoeding voor proefpersonen, enz.

tabel 9. Geschiktheid meetmethodes voor verschillende aspecten

aspect	enquête	video- obser- vatie	DGPS ¹		Geïstrumenteerd voertuig		Rijsimulator	
			# ontvangers 1	>1	COV	TNOTM	COV	TNOTM
laterale positie/type voertuig/rijstrook		x	x	x	x	x	x	x
laterale positie per type voertuig in relatie tot de afstand barriër-kantstreep		x	x	x	x	x	x	x
laterale positie per type voertuig t.o.v. overige voertuigen		o ²		x	o ²	o ³	x	x
minimale laterale afstanden (y_i, y_o)				o	o	o	x	x
kritisch hiaat d_{crit}				o	o	o	x	x
positionering voertuig (in het hiaat)		o		x	o	o	x	x
longitudinale invloedsafstand (s)				x		o	x	x
snelheidsverloop van het voertuig		o ³	x	x	x	x	x	x
minimum volgafstand (x)				x	o	o	x	x
aantal betrokken voertuigen	x			x			o	o
invloed van de lengte van het wegvak	x			o			o	o
beïnvloedende voertuigkenmerken	x							

In de tabel staat 'o' voor 'mogelijk' en 'x' voor 'geschikt'.

¹ Mits een digitale kaart beschikbaar is met het exacte dwarsprofiel van de weg.

² Alleen goed meetbaar indien beide voertuigen naast elkaar rijden.

³ Alleen de actuele snelheid tijdens passeren kan bepaald worden.

7.2.2 De afweging

Zoals vermeld, wordt in deze subparagraaf getracht tot een weloverwogen keuze te komen voor één of eventueel meerdere meetinstrumenten. Daarbij worden de verschillende instrumenten per beschreven criterium tegen elkaar afgewogen. De enquête wordt in de afweging buiten beschouwing gelaten, omdat hiermee geen kwantitatieve gegevens verkregen worden. Resultaten van de enquête die in het kader van de evaluatie van de plusstrook op de A27 gehouden wordt, kunnen mogelijk al voldoende informatie opleveren.

De resultaten van de overige instrumenten worden in een scorekaart gepresenteerd.

Wanneer de score op een bepaald criterium niet kwantitatief kan worden uitgedrukt, wordt dat kwalitatief gedaan. Daarbij wordt dan de volgende 5-punts-schaalverdeling gehanteerd: --/-0/+/. Hierin staat -- voor een zeer slechte score en ++ voor een zeer goede score. Om met deze schaalverdeling een goede vergelijking te kunnen maken, worden de instrumenten geschaald ten opzichte van de video-observatie. De video-observatie krijgt daarom op alle niet kwantitatief uit te drukken criteria de score 0.

De zodoende verkregen scorekaart is weergegeven in tabel 10. Bij het maken van de keuze wordt geen gebruik gemaakt van ingewikkelde en arbitraire evaluatiemethoden. De geïnterpreteerde instrumenten worden eenvoudigweg in elkaars perspectief gezet, waarna met gezond verstand een keuze wordt gemaakt. In onderstaande beschouwing zal de keuze worden toegelicht. Hierbij worden de instrumenten onderling op geschiktheid, mogelijkheden en beperkingen vergeleken. Daarnaast wordt tevens gebruik gemaakt van achtergrondinformatie uit het plan van aanpak voor de dynamische linker rijstrook op de A27¹³ (plusstrook) om de keuze voor een bepaald instrument te onderbouwen.

¹³ Projectnaam: Plan van aanpak meting Evaluatie Dynamische linker rijstrook A27 Lunetten-Everdingen & 2^e Lekbrug A2 bij Vianen.

tabel 10. Scorekaart

	video- observatie	DGPS		Geïstrumenteerd voertuig		Rijsimulator	
		# ontvangers 1	>1	COV	TNO-TM	COV	TNO-TM
nauwkeurigheid [cm]	±5	±5/±2 ¹	±5/±2 ¹	1-2	±2	1	1
afstand	50-100m	20-30km	20-30km	10 min	wegvak	Wegvak	Wegvak
inwinning (basis)gegevens	0	+	+	0+	+	+	+
verwerking gegevens	0	+	+	0	0	+	0+
beperkingen	0	0	0	-0	0+	-0	-0
# aspecten	0	-	++	0+	0+	++	++
totale kosten onderzoek (voorbereiding, apparatuur, analyse, e.d.)	±f50.000	±f250.000,- (per locatie)		±f100.000,- (per locatie)		f175.000,- à 200.000,-	

¹ nauwkeurigheid van de positie van één enkel voertuig/ nauwkeurigheid van voertuigen t.o.v. elkaar (indien ze naast elkaar rijden)

Er is tussen de verschillende instrumenten een duidelijk verschil waarneembaar in de wijze waarop de gegevens gemeten worden. Alleen met video-observatie worden de bestuurders niet of nauwelijks beïnvloed door het verrichten van de meting, omdat de camera over het algemeen redelijk onopvallend geplaatst kan worden. Dit betekent, dat de bestuurders in de geobserveerde situatie hun natuurlijke rijgedrag tonen. Dit in tegenstelling tot de andere instrumenten waarbij gebruik wordt gemaakt van proefpersonen, die ongetwijfeld beïnvloed worden door het feit, dat zij geobserveerd worden. Het gevolg is, dat zij dan zeer waarschijnlijk niet hun natuurlijke rijgedrag laten zien. Gezien het belang van de nauwkeurigheid en representativiteit van de resultaten, moet elke beïnvloeding daarom zoveel mogelijk vermeden worden. Dit pleit voor het gebruik van de video-observatie. Daarnaast is het voordeel van video-observatie, dat een aantal gegevens in grote getale, redelijk nauwkeurig, snel en relatief goedkoop verkregen kunnen worden. Er moet dan gedacht worden aan de dwarsposities van de voertuigen per rijstrook, afstand tot vaste objecten langs de rijbaan en de snelheden op het wegvak.

Met video-observatie kunnen echter niet alle gegevens gemeten worden, die noodzakelijk zijn om de verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag te beschrijven. Om die gegevens te verkrijgen, zodat ook de overige aspecten beschreven kunnen worden, zal één (of eventueel meerdere) van de andere meetinstrumenten worden toegepast. Welk instrument daarvoor het meest geschikt is, volgt uit het vervolg van deze beschouwing. Het geïstrumenteerde voertuig van het COV valt direct af. Eenvoudigweg omdat het geïstrumenteerde voertuig van TNO-TM op een aantal criteria iets beter scoort. Doch, ook dit voertuig valt af. Hoewel dit instrument goed scoort op de nauwkeurigheid en er voldoende gegevens van een rit opgeslagen kunnen worden, scoort het instrument per criterium over het algemeen lager dan het DGPS en de beide rijsimulators. Vooral het aantal aspecten dat na afloop van een meting bepaald kan worden, is te gering en daarmee doorslaggevend. Bovendien zijn er geen wegvakken waar de rijstrookbreedtes vergelijkbaar zijn met de dynamische rijbaanindeling. Daarnaast worden er reeds voorbereidingen getroffen om met een geïstrumenteerd voertuig de rijtaakbelasting op de plusstrook op de A27 te evalueren.

Het DGPS biedt vooral mogelijkheden indien er meerdere voertuigen mee worden uitgerust. Met het DGPS kunnen veel gegevens met betrekking tot de verschillende

aspecten gemeten worden en de verwerking van de gegevens is redelijk eenvoudig. Echter, moet wel bedacht worden, dat hoe meer voertuigen met een ontvanger worden uitgerust, des te duurder het onderzoek wordt. Daartegenover staat echter weer, dat hoe meer voertuigen worden uitgerust, des te meer informatie omtrent de interactie tussen de voertuigen wordt verkregen. Het is alleen nog onduidelijk, over hoeveel ontvangers beschikt kan worden. Wanneer het aantal ontvangers beperkt is, is de vloot voertuigen wellicht te klein om het onderzoek goed uit te voeren. De mogelijkheden om DGPS toe te passen in dit onderzoek zijn dan wat dit punt betreft ook nog te vaag. Verder, en dat geldt eigenlijk ook voor het geïnstrumenteerde voertuig, zullen delen van een experiment met DGPS niet geschikt zijn om op de openbare weg uit te voeren. Voor een goede beschrijving van bepaalde aspecten zijn immers kritische situaties noodzakelijk (zoals kleine laterale afstanden en kleine hiaten). In deze kritische situaties kunnen kleine fouten van een proefpersoon tot ernstige gevolgen leiden (ook voor andere proefpersonen). Dan rest de rijsimulator nog. In vergelijking met DGPS is de rijsimulator een stuk nauwkeuriger wat de posities betreft. Vooral op smalle rijstroken kan dat, wat de individuele waarnemingen betreft, van belang zijn. Verder heeft een rijsimulator in dit onderzoek het voordeel, dat door verschillende scenario's te definiëren de invloed van de afzonderlijke aspecten onderzocht kan worden. Hierdoor worden 'zuivere' gegevens verkregen, wat het doen van een uitspraak ten aanzien van de verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag vereenvoudigt. Dit in tegenstelling tot metingen met een geïnstrumenteerd voertuig of DGPS waarbij veelal meerdere aspecten tegelijk zullen veranderen. Verder kunnen meerdere configuraties van rijstroken relatief eenvoudig onderzocht worden op het rij- en inhaalgedrag. Vooral het onderzoeken van meerdere configuraties van rijstroken vormt een belangrijk aspect van het onderzoek. Een onderzoek met gebruikmaking van het DGPS of een geïnstrumenteerd voertuig worden dan al snel fors duurder. Bij het uitvoeren van een experiment met de rijsimulator moet wel rekening worden gehouden met de validiteit van de resultaten. Dat is dan ook een mogelijk nadeel van het gebruik van dit instrument.

Van deze laatste instrumenten is het beste instrument de rijsimulator. Dit vooral omdat de kennis van bepaalde aspecten, die bij het uitvoeren van een inhaalmanoeuvre van invloed zijn, nog onvoldoende is. Met behulp van een rijsimulator kan inzicht verkregen worden in relaties en invloeden van bepaalde aspecten op andere aspecten. Bovendien zijn er geen locaties die over een soortgelijke rijbaanindeling beschikken als bij de dynamische rijbaanindeling, waardoor het gebruik van een geïnstrumenteerd voertuig of DGPS al een stuk minder interessant wordt. Een rijsimulator heeft tevens het voordeel dat de proefpersonen geen risico lopen.

Het wordt dus verstandig geacht eerst een experiment met de rijsimulator uit te voeren. Het wordt wel aanbevolen de ontwikkelingen van GPS en DGPS op de voet te volgen.

Wanneer met name de kosten van deze systemen dalen, vormen deze systemen een interessant instrument voor het verzamelen van nieuwe gegevens.

De gekozen instrumenten

Voor het onderzoeken van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen wordt dus aanbevolen gebruik te maken van de meetinstrumenten video-observatie en rijsimulator. Met deze twee instrumenten is het mogelijk de meeste gegevens te verzamelen, die noodzakelijk worden geacht voor het (kwalitatief en kwantitatief)

beschrijven van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken. Een enquête, die in het kader van de evaluatie van de plusstrook op de A27 wordt gehouden, kan eventueel aanvullende gegevens en informatie opleveren over de veiligheid en de belasting van de rijtaak op smallere rijstroken.

In de volgende twee hoofdstukken wordt voor elk van de twee gekozen instrumenten een methode beschreven, zodat met behulp van deze instrumenten de gewenste gegevens verkregen worden. In hoofdstuk 9 wordt een methode beschreven waarbij de video-observatie wordt gebruikt en in hoofdstuk 10 wordt een methode beschreven met de rijsimulator.

8. Onderzoeksofzet video-observatie

In het vorige hoofdstuk is, om die gegevens te verkrijgen waarmee verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag beschreven kunnen worden, gekozen voor de meetinstrumenten video-observatie en rijsimulator. In dit hoofdstuk wordt een methode met de video-observatie uitgewerkt.

De eerste stap bij de uitwerking van een methode is het vaststellen van welke gegevens met de video-observatie gemeten kunnen worden. Dit is bij de afweging van de verschillende instrumenten al globaal aan de orde gekomen. Er wordt dan ook geen uitvoerige beschouwing meer aan besteed. De onderzoeksmogelijkheden en de nauwkeurigheid van de video-observatie zijn hierbij in belangrijke mate bepalend.

De volgende stap bestaat uit een beschrijving van de uitvoering van de meting. Dit omvat aspecten als op welke locatie en op welke wijze worden de metingen uitgevoerd. Ook het bepalen van de steekproefomvang behoort hier toe. Tevens wordt aangegeven op welke wijze de verkregen gegevens geanalyseerd kunnen worden en hoe de resultaten zo overzichtelijk mogelijk gepresenteerd kunnen worden. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de bevindingen van een proefmeting met de video-observatie.

8.1 Het instrument

Het uitvoeren van een meting met gebruikmaking van video-observatie houdt in, dat met een camera vanaf een vaste positie beeldopnamen van de verkeersstroom worden gemaakt. Deze beelden kunnen zowel continu als time-lapsed zijn. De voorkeur gaat in dit onderzoek uit naar continue beelden, omdat dergelijke beelden meer potentie hebben dan time-lapsed beelden. Na afloop van de opnamen worden de beelden met behulp van een softwarepakket, zoals bijvoorbeeld Vivatrafic, verwerkt. Deze analyse moet voor een belangrijk deel handmatig uitgevoerd worden, omdat de meeste software niet ontwikkeld is om de dwarsposities van voertuigen (automatisch) te bepalen.

8.2 Te onderzoeken aspecten

Omdat video-observatie aanzienlijk goedkoper is dan het uitvoeren van een meting met de rijsimulator, is het belangrijk goed te inventariseren welke van de gewenste gegevens op deze wijze bepaald kunnen worden. Daarvoor worden hoofdstuk 6 en tabel 9 (blz 54) nogmaals beschouwd.

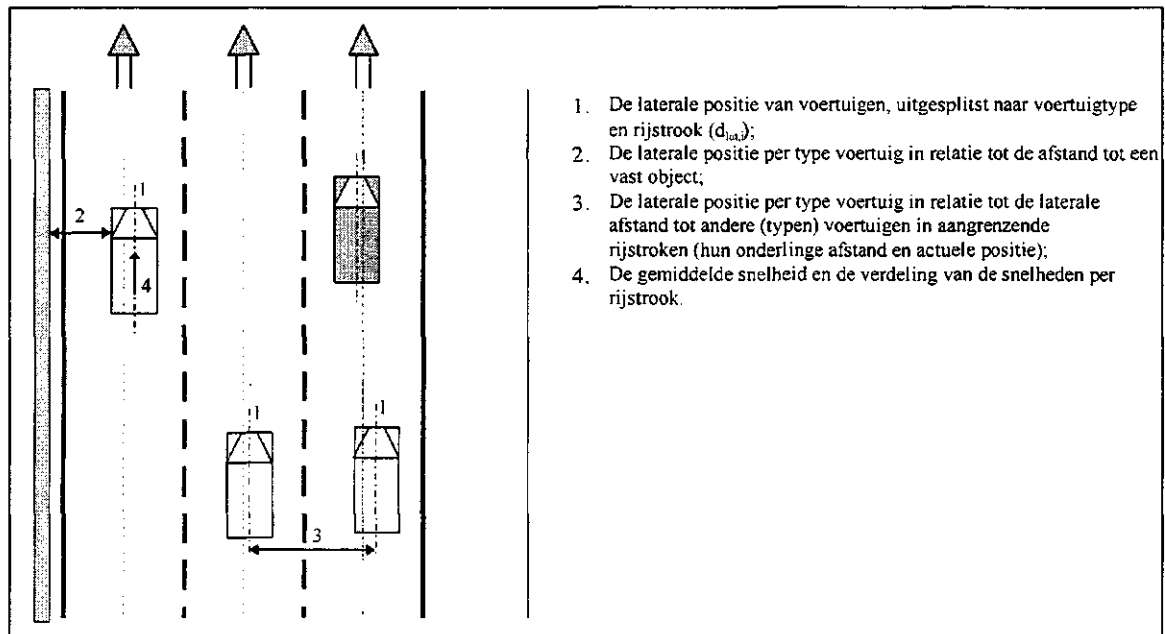
Het geheel overziend kan met video-observatie op de volgende onderzoeksvragen antwoord worden gevonden:

1. Wat is het gemiddelde en de standaarddeviatie van de laterale posities van voertuigen ($d_{lat,i}$), uitgesplitst naar rijstrook en voertuigtype;
2. Wat is het gemiddelde en de standaarddeviatie van de laterale posities per type voertuig in de linker rijstrook in relatie tot de afstand tussen de binnenkant kantstreep en een vast object;
3. Wat is de laterale positie per type voertuig in relatie tot de laterale positie van andere (typen) voertuigen in de aangrenzende rijstroken (hun onderlinge afstand en actuele posities).

Tevens kan de volgende vraag beantwoord worden:

4. Wat is de gemiddelde snelheid en de verdeling van de snelheden per rijstrook per voertuigtype.

De resultaten uit deze metingen worden mede ter verificatie van de resultaten uit de rijsimulator gebruikt.



figuur 19. Te meten aspecten met video-observatie

Verschillende combinaties van objecten

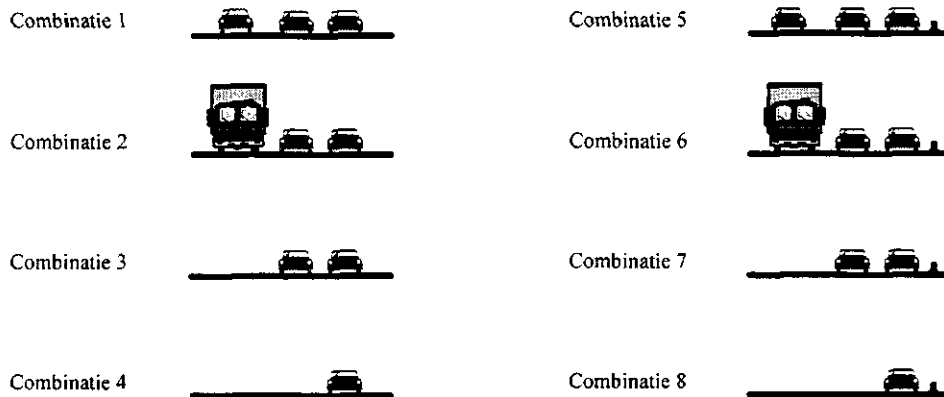
Bij genoemde onderzoeksvragen kan het belangrijk zijn onderscheid te maken in verschillende combinaties van objecten (voertuigen en/of vaste objecten). De verwachting is immers, dat de interactie tussen de voertuigen in termen van laterale posities en laterale afstanden per combinatie van voertuigen en/of vaste objecten zal verschillen. Daarom lijkt het verstandig de verschillende combinaties afzonderlijk te beschouwen.

Neem bijvoorbeeld een rijbaan met drie rijstroken (en een vluchtstrook). In dat geval kunnen 6 mogelijke combinaties van voertuigen onderscheiden worden. In het geval dat de rijbaan aan de linker zijde wordt afgeschermd door een vast object, komen daar nog eens 3 combinaties bij (zie bijlage II).

De verwachting is dat deze verschillende combinaties van voertuigen en vaste objecten tot andere gemiddelde laterale posities van de voertuigen leiden. Immers, als er zich slechts één voertuig op de rijbaan bevindt, dan zal de bestuurder van dit voertuig die positie kiezen die hij het meest comfortabel acht. Indien er zich naast dit voertuig een ander object bevindt, zal dit invloed uitoefenen op de laterale positie van dit voertuig en daardoor een verschuiving van de laterale positie van dit voertuig teweeg brengen (o.a. Cohen, 1999; De Vos, 1998).

Naast deze verschillende combinaties moet er ook nog rekening worden gehouden met de typen voertuigen, die zo'n combinatie vormen. Zo wordt verwacht, dat een vrachtwagen

een merkbare invloed heeft op de dwarspositie van het passerende voertuig in de aangrenzende rijstrook ten opzichte van een personenauto.



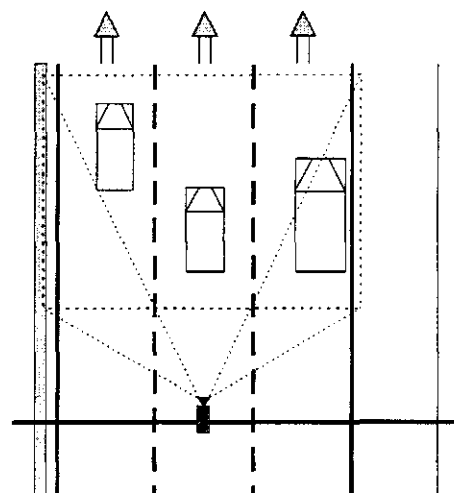
figuur 20. Beschouwde combinaties van voertuigen en/of vaste objecten

Wanneer op basis van drie voertuigtypen (in aansluiting op MIXIC: de personenauto, de bestelbus en vrachtwagens) het aantal mogelijke combinaties wordt bepaald, komt men tot een aantal van 47 (bijlage II). Omdat het duidelijk zal zijn, dat niet alle combinaties onderzocht kunnen worden, wordt de aandacht op bepaalde combinaties gericht. Daarbij worden voorlopig alleen combinaties van *personenauto's* en *vrachtwagens* beschouwd. De combinaties waarin deze voertuigen beschouwd worden, zijn in figuur 20 weergegeven. (In bijlage II wordt toegelicht waarom deze combinaties beschouwd worden.)

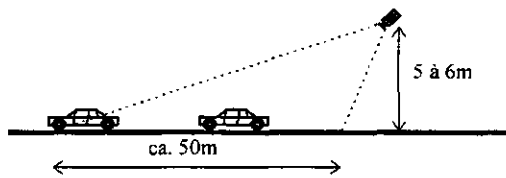
8.3 De meting

8.3.1 Opstelling

De beste locatie om met een camera opnamen te maken, is vanaf een locatie midden boven de rijstrook. Er is dan vrijwel geen vertekening van het beeld en er ontstaan geen problemen bij het aflezen door bijvoorbeeld schaduwen rondom de voertuigen. Er is dan wel voor iedere rijstrook een aparte camera nodig. Meestal wordt er echter maar één camera gebruikt, welke dan midden boven de rijbaan hangt. De camera wordt daarbij aan een viaduct of zo mogelijk aan een portaal bevestigd. Om de nauwkeurigheid ($\pm 5\text{cm}$) van de gegevens te garanderen moet de afstand tussen het object en de camera beperkt worden tot circa 50 meter. De beelden zijn dan nog scherp genoeg om ze goed af te lezen.



figuur 21. Boven-aanzicht cameraposities



figuur 22. Zijaanzicht opstelling (niet op schaal)

Om het verkeer zo min mogelijk te beïnvloeden, kan het beste met de verkeersstroom mee worden gemeten, dus 'vanachter' een viaduct of portaal. De camera's vallen dan het minste op en schrikken bestuurders niet af. Afhankelijk van het aantal camera's of de stand van de camera, kan het handig zijn om een extra camera te gebruiken, waarmee de volledige verkeersstroom in beeld wordt gebracht. Eigenaardigheden in de dataset kunnen daarmee (later) eenvoudig worden achterhaald.

8.3.2 Meetperiode

Dit is een belangrijk punt. De ideale situatie is dat de intensiteit hoog is, circa 90% van de capaciteit, bij een min of meer constante snelheid van het passerende verkeer. Deze situatie doet zich meestal alleen tijdens een deel van de spitsperiode voor. Omdat binnen de spitsuren de kans aanwezig is dat filevorming optreedt, zullen de meest geschikte beelden er achteraf uitgefilterd moeten worden. Dat zijn dan die beelden die gedurende een langere periode (10-15min) geen congestie laten zien en waarbij de snelheid van de voertuigen groter is dan 50km/u.

8.3.3 Locaties

Een belangrijke beperking van het toepassen van video-observaties voor het verkrijgen van bruikbare gegevens is het aantal geschikte meetlocaties. Een locatie wordt namelijk pas geschikt bevonden als het aan de volgende voorwaarden voldoet:

- Het wegvak beschikt over 3 (versmalde) rijstroken, bij voorkeur met een vluchtstrook;
- Het wegvak kent een deel waarop de invloed van weefbewegingen als gevolg van de nabijheid van een op- en/of afrit minimaal is (500 meter voor of na het puntstuk);
- Het wegvak kent ter hoogte van het meetpunt een rechtstand. Afwijkingen in de resultaten als gevolg van bijsturen in bochten worden dan vermeden;
- Het wegvak is bij voorkeur vlak, om effecten van hellingen op de snelheid te voorkomen.

Bij de keuze van de locaties is het belangrijk, dat zowel het effect van de rijstrookbreedte als een vast object onderzocht kunnen worden. Bij voorkeur moet daarom slechts één van deze factoren per locatie variëren. Daarom wordt gezocht naar een locatie waarop een referentiemeting kan worden uitgevoerd, naar een locatie waarop de rijstroken versmald zijn, maar er geen invloed is van een vast object, en naar een locatie waarop de rijstroken versmald zijn en er een vast object dicht op de rijbaan gesitueerd is.

Onderstaand wordt van de (voorlopig) geselecteerde locaties een korte beschrijving gegeven, waarin de belangrijkste kenmerken van deze locaties vermeld worden (zie ook figuur 23).

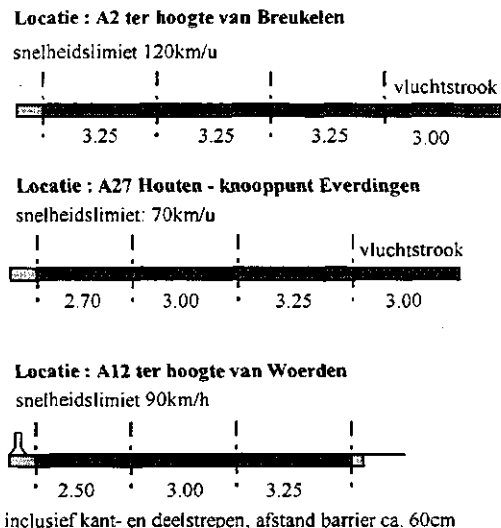
Locatie: A2 ter hoogte van Breukelen

Gezien het feit dat de snelheidslimiet op het wegvak met de dynamische rijbaanindeling

90km/u of minder zal bedragen, is de A2 ter hoogte van Breukelen tussen Amsterdam en Utrecht een geschikte locatie. De rijstroken zijn hier gedimensioneerd op een snelheid van 90km/u en hebben daarom een breedte van 3.25 meter. De snelheidslimiet op dit wegvak bedraagt overigens onder normale omstandigheden 120km/u.

Locatie: A27 tussen afslag 'Houten' en knooppunt 'Everdingen'

Een locatie waar de rijstroken smaller zijn dan 3.25 meter, is te vinden op de A27 tussen de afslag 'Houten' en het knooppunt 'Everdingen' (project "plusstrook"). De rijstroken zijn hier van rechts naar links 3.25, 3.00 en 2.70 meter breed en de vluchtstrook is 3.00 meter breed. De snelheidslimiet bedraagt hier vooralsnog 70km/u. Verder geldt voor dit wegvak voor het verkeer een breedtebeperking voor de middelste en linker rijstrook.



figuur 23. Dwarsdoorsneden meetlocaties

Locatie: A12 tussen 'de Meern' en 'Woerden'

Een andere locatie is, of beter was, de A12 tussen De Meern en Woerden. Gedurende de wegwerkzaamheden, die in de zomer van 1999 plaatsvonden, zijn beeldopnamen gemaakt. De breedte van de rijstroken bedroegen destijds 2.50, 3.00 en 3.25 meter, inclusief alle belijning. De snelheidslimiet bedroeg hier 90km/u, met een inhaalverbod voor het vrachtverkeer. Aan de linker zijde werd de rijbaan afgeschermd door een barriër, die op een afstand van circa 60 centimeter van de rijbaan stond.

8.3.4 Benodigde steekproefomvang

Het is nu duidelijk welke aspecten met video-observatie bepaald worden, hoe de benodigde gegevens gemeten worden en waar metingen verricht kunnen worden. De volgende vraag is hoeveel waarnemingen er minimaal nodig zijn voor het verkrijgen van een goede steekproef. Hoeveel waarnemingen precies nodig zijn, kan niet gezegd worden. Dat is immers afhankelijk van de verzamelde gegevens, maar een schatting kan wel gedaan worden. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van de volgende vergelijking:

$$n > \frac{\sigma^2}{d^2} z_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}^2 \quad (8)$$

waarin:

- n benodigde steekproefomvang voor het schatten van het gemiddelde,
- σ standaarddeviatie (cm),
- d nauwkeurigheid (cm),
- $z_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}$ maat voor de betrouwbaarheid.

Om met een redelijke nauwkeurigheid d^{14} een uitspraak over de resultaten te doen, wordt deze op 5 centimeter gesteld. De standaarddeviatie σ wordt geschat op basis van eerder gedane onderzoeken (bv. Gunay, 1999) en bedraagt ongeveer 35 centimeter bij een rijstrookbreedte van 3.50 meter. De betrouwbaarheid¹⁵ van de resultaten dient door de onderzoeker zelf vastgesteld te worden. In tabel 11 is weergegeven hoe groot de steekproefomvang minimaal moet zijn, opdat met een bepaalde betrouwbaarheid een uitspraak gedaan kan worden.

tabel 11. Bepaling steekproefomvang bij video-observatie

betrouwbaarheid [%]	significantieniveau α [%]	kritieke waarde z		steekproefomvang n
85	15	1.440	$\sigma = 35\text{cm}$ en $d = 5\text{cm}$	102
90	10	1.645		133
95	5	1.960		189
99	1	2.576		326
99.9	0.1	3.291		531

Uit de tabel blijkt, dat hoe groter de gewenste betrouwbaarheid, hoe groter de benodigde steekproefomvang. Er moet dus een optimum worden gevonden, dat in grote mate afhangt van de financiën en de beschikbare tijd. Zoals reeds een aantal malen is vermeld, zijn de kosten van een videometing relatief laag, wat betekent dat er dus relatief goedkoop veel waarnemingen gedaan kunnen worden. En veel waarnemingen betekent, dat de betrouwbaarheid en/of de nauwkeurigheid van de resultaten toeneemt.

Om met een redelijke betrouwbaarheid (95%) en nauwkeurigheid ($\pm 5\text{cm}$) iets over de dwarsposities van voertuigen te zeggen, wordt geschat dat tenminste 189 waarnemingen nodig zijn. Dit betekent dat per combinatie van objecten 189 waarnemingen nodig zijn. (Omdat de rijstrookbreedte in de onderzochte situaties kleiner is, zal de standaarddeviatie naar verwachting afnemen. Daarom zal tussentijds worden nagegaan, of de steekproef niet in omvang beperkt kan worden. Hiervoor wordt eveneens vergelijking 6 gebruikt.)

Indien achteraf blijkt, dat het aantal relevante combinaties gereduceerd kan worden, omdat bijvoorbeeld het type voertuig niet van invloed blijkt op de dwarspositie, dan kunnen de waarnemingen van overeenkomstige combinaties samengevoegd worden. Dit verhoogt uiteraard alleen maar de betrouwbaarheid en/of de nauwkeurigheid van de uitspraak over de resultaten. Om na te gaan of de verschillende combinaties relevant zijn, worden toetsen uitgevoerd op het gemiddelde en de variantie van de datasets. Hierover volgt meer in de volgende paragraaf.

8.4 Analyseplan video-observatie

Om de datasets te kunnen vergelijken, worden van de datasets de belangrijkste grootheden bepaald. Deze grootheden volgen uit de analyse van de datasets. Deze paragraaf beschrijft hoe de verkregen datasets worden geanalyseerd. De verkregen datasets worden daarbij eerst op eventuele fouten gecontroleerd. Wanneer de fouten geëlimineerd zijn, wordt een

¹⁴ Met de nauwkeurigheid wordt aangegeven hoeveel de werkelijk waarde kan afwijken van de berekende waarde. Als de nauwkeurigheid d bijvoorbeeld 5 centimeter bedraagt, en er is een gemiddelde berekend van 1.35 meter, dan bedraagt het interval waarin de werkelijke waarde ligt [1.30, 1.40].

¹⁵ Met de betrouwbaarheid wordt aangegeven hoe groot de kans is, dat de berekende waarde zich daadwerkelijk binnen het gebied ligt, ter breedte van $2 \times d$.

statistische analyse uitgevoerd, waarbij geprobeerd wordt het type verdeling van de gegevens vast te stellen. Vervolgens zal, indien daar aanleiding toe is, gecontroleerd worden of de verschillen in resultaten van de afzonderlijke datasets significant en relevant zijn. Hiermee wordt nagegaan, of het zinvol is de voorgestelde combinaties van objecten per locatie afzonderlijk te blijven beschouwen. Tot slot van de analyse wordt aangegeven, hoe de resultaten het beste gepresenteerd kunnen worden.

8.4.1 Gegevens

Alvorens met de beschrijving van de analyse van de datasets te beginnen, wordt eerst nog even herhaald welke gegevens door middel van video-observatie verkregen zullen worden. Ten eerste zijn dit datasets van dwarsposities, reeds onderscheiden naar combinatie, rijstrook en voertuigtype. Ten tweede datasets van onderlinge laterale afstanden per combinatie. En als laatste een dataset met gemeten snelheden.

8.4.2 Ordening gegevens

Alvorens met het bewerken van de gegevens te beginnen, zal elke dataset gecontroleerd worden op gegevens die niet bruikbaar zijn. Onbruikbare gegevens kunnen het gevolg zijn van rijstrookwisselingen, een plotselinge uitwijking of plotseling remmen. Om deze gegevens te visualiseren, wordt gebruik gemaakt van de boxplot (Groeneboom, 1995). Daarmee kunnen de uitschieters zichtbaar worden gemaakt (zie ook Bijlage III: deel a). Van de gegevens die buiten de snorharen vallen, wordt onderzocht wat daarvan de oorzaak is. De extreme waarden waaraan een oorzaak kan worden toegeschreven, worden uit de dataset verwijderd. De overige gegevens blijven in dataset behouden en kunnen interessante informatie opleveren. Foute gegevens die binnen de box vallen, maar waarvan niet bekend is dat ze fout zijn, worden met de boxplot dus niet onderzocht en gevisualiseerd, maar hebben ook slechts een gering effect op de resultaten.

Nadat de (eventuele) fouten uit de dataset zijn verwijderd, worden de resterende gegevens in een histogram weergegeven. Het histogram geeft inzicht in hoe de gegevens verdeeld zijn, bijvoorbeeld hoe de posities van de passerende voertuigen over de rijstrookbreedte verspreid zijn. Het nadeel van het weergeven van de gegevens in een histogram is echter wel, dat door de clustering van de gegevens in cellen, een deel van de informatie van de afzonderlijke gegevens verloren gaat.

8.4.3 Analyse van de gegevens

statistische analyse

De opgeschoonde datasets worden vervolgens gebruikt in een statistische analyse. Dit houdt onder andere in, dat het rekenkundig gemiddelde van de dataset, de variantie, de standaarddeviatie, en het type verdeling worden bepaald (voor formules zie Bijlage III: deel b en c). Deze analyse kan met behulp van (geavanceerde) softwarepakketten tegenwoordig snel en eenvoudig worden uitgevoerd.

Na de analyse van de data wordt nog geverifieerd of de steekproefomvang voldoende groot blijkt om de gewenste betrouwbaarheid van 95% en de gewenste nauwkeurigheid van 5cm na te streven.

Verschillen tussen datasets

Er worden verschillende combinaties van objecten beschouwd (bijlage II), omdat verwacht wordt dat deze combinaties tot verschillen in de laterale posities van de voertuigen leiden. Om nu na te gaan of er ook daadwerkelijk significant verschil is tussen de datasets, worden toetsen uitgevoerd met de gemiddelden en de varianties van de datasets. Er wordt hierbij in eerste instantie alleen getoetst naar verschillen in combinaties bij overeenkomstige locaties. Voor het toetsen of het verschil tussen de datasets significant is, worden een t-toets en een F-toets gebruikt (voor een toelichting wordt verwezen naar bijlage III: deel d).

Correlatie

Als is vastgesteld of het beschouwen van de combinaties relevant is, wordt nog nagegaan of er sprake is van een correlatie tussen de posities van de voertuigen per combinatie. Daarmee wordt nagegaan of de positie van bijvoorbeeld een voertuig in de rechter rijstrook invloed heeft op de positie van de voertuigen in de middelste en linker rijstrook. Formules waarmee de mate van correlatie wordt aangegeven zijn weergegeven in bijlage III: deel e.

8.4.4 Resultaten

De resultaten kunnen op verschillende manieren worden gepresenteerd. Voor het weergeven van de gegevens uit de datasets is reeds aangegeven, dat dit door middel van een boxplot en/of een histogram kan. Verder kan er iets gezegd worden omtrent het type verdeling van de verschillende datasets. Door de resultaten van de verschillende datasets voor verschillende rijstrookbreedtes in een grafiek uit te zetten, kan tevens worden nagegaan of er een verband bestaat tussen de rijstrookbreedte en de gemiddelde positie en standaarddeviatie per combinatie per rijstrook per type voertuig.

De resultaten van dit deel van het onderzoek naar de voertuiginteractie op versmalde rijstroken dienen in ieder geval als input voor MIXIC en eventueel als referentie voor de resultaten van de metingen met de rijsimulator.

8.5 Proefmeting

In deze paragraaf worden de bevindingen van een proefmeting met de video-observatie gepresenteerd. Door middel van deze proefmeting wordt gecontroleerd of de beschreven methodiek, voor het verzamelen van de gegevens, daadwerkelijk die gegevens oplevert, die noodzakelijk worden geacht voor het adequaat beschrijven (van een deel) van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken. De voorgestelde meetmethode wordt vervolgens aan de hand van de resultaten uit de proefmeting geëvalueerd. Indien de resultaten niet overeenkomen met hetgeen verwacht werd, wordt bekeken op welke punten de voorgestelde methode aangepast of verbeterd kan worden.

8.5.1 Locatie

Voor de proefmeting met video-observatie is gebruik gemaakt van beschikbaar beeldmateriaal van de wegwerkzaamheden op de A12 tussen Utrecht en Woerden. De videobeelden zijn time-lapsed beelden met een frequentie van 1 beeld per 1 à 2 seconden. De opnamen zijn gemaakt vanaf een portaal, waarbij de camera boven de middelste rijstrook hing. Verder kan over de beelden worden gezegd, dat deze aan het einde van de middag gemaakt zijn en het weer ten tijde van de opnamen bewolkt maar droog was. Het dwarsprofiel zag er tijdens de werkzaamheden als volgt uit (zie figuur 24): rechts

grenst de rijbaan direct aan de berm en links aan een barrier. Op papier is de rijbaanindeling 3.25-3.00-2.50 meter (inclusief de belijning), maar in praktijk blijkt deze 3.15-2.95-2.65 te zijn en volgens de ROA (1994) is de rijbaanindeling zelfs 3.00-2.95-2.50¹⁶. De afstand tussen binnenkant kantstreep en de barrier blijkt ongeveer 25 centimeter te bedragen.



figuur 24. Situatie A12 (getoonde combinatie op foto: combinatie 6)

8.5.2 Uitlezen videobeelden met ViVAtraffic

De videobeelden worden uitgelezen met het softwarepakket ViVAtraffic. Met dit softwarepakket wordt de gebruiker in staat gesteld om naast de snelheid en de lengte van een voertuig ook de positie (longitudinaal en lateraal) van een voertuig te bepalen. Tijdens deze proefmeting is het pakket alleen gebruikt om de laterale positie van een voertuig te bepalen. Het bepalen van de snelheid bleek door de time-lapsed beeldopnamen niet mogelijk te zijn met het softwarepakket. Het is wel mogelijk uit opeenvolgende videobeelden de snelheid te schatten.

Als referentiepunt voor het bepalen van de laterale positie van een voertuig is voor het midden van het voertuig gekozen. Dit blijkt over het algemeen het meest herkenbare punt van een voertuig te zijn (meestal het embleem). Daarnaast heeft dit punt het voordeel, dat de voertuigbreedte niet gemeten hoeft te worden, waardoor een opeenstapeling van onnauwkeurigheden als gevolg van onjuist aflezen wordt voorkomen. Bij het bepalen van de breedte van de voertuigen moeten immers twee posities bepaald worden.

Om te verifiëren met welke nauwkeurigheid de positie van een voertuig kan worden bepaald, wordt met behulp van ViVAtraffic de breedte van een aantal voertuigen bepaald. De gemeten breedtes worden vervolgens vergeleken met de breedte, zoals deze in de specificaties voor het betreffende model worden vermeld.

¹⁶ De afwijkende maten zijn bepaald met het softwarepakket ViVAtraffic. Voor informatie en uitleg over ViVAtraffic wordt verwezen naar de internetpagina <http://transport.arubi.uni-kl.de/ViVAtraffic/index.html>

8.5.3 Tijdsbesteding

Tijdens de proefmeting zijn 88 beelden geanalyseerd in circa vier uur tijd. Dit is de tijd benodigd voor het selecteren van de beelden en de tijd benodigd voor het uitlezen. In tegenstelling tot wat verwacht werd, is het verkrijgen van de geschikte beelden een tijdrovende aangelegenheid.

8.5.4 Evaluatie

De methode

Wat de werkwijze betreft hoeft er niets veranderd te worden. Alleen is het sterk aan te bevelen om geen time-lapsed beelden te gebruiken. Het komt te vaak voor dat beelden niet bruikbaar zijn, omdat de voertuigen zich bij het eerste beeld nog te ver weg bevinden en bij het volgende beeld de camera reeds gepasseerd zijn. Daarbij is het bezwaar van time-lapsed beelden, dat het niet mogelijk is automatisch de snelheden van de voertuigen te bepalen, hetgeen bij continue beelden wel mogelijk is.

Uitlezen van de beelden

Tijdens de proefmeting zijn van iedere combinatie willekeurig beelden geselecteerd. Dit bleek niet de meest efficiënte aanpak te zijn, omdat achteraf uitgezocht moest worden welke combinatie van de objecten bij welke foto en combinatie van getallen behoorde. Het is daarom efficiënter de beelden combinatie voor combinatie uit te lezen, zodat (onnodige) fouten in de dataset als gevolg van een onjuiste combinatie worden vermeden.

De nauwkeurigheid uitlezen data

Er kunnen meerdere fouten worden gemaakt, zowel systematische als toevallige fouten. Een systematische fout wordt gemaakt, indien de kalibratie van het beeldscherm onzorgvuldig wordt gedaan. De fout als gevolg hiervan zal over het algemeen verwaarloosbaar zijn, omdat het beeldscherm (de pixels) ten opzichte van een groot vlak gekalibreerd wordt. Een tweede (toevallige) fout kan gemaakt worden bij het afschatten van het raakpunt met de weg. Dit is echter redelijk goed te schatten, waardoor de fout beperkt blijft tot hoogstens 2 centimeter. De grootste meetfout zal gemaakt worden door het afschatten van de laterale positie van het voertuig.

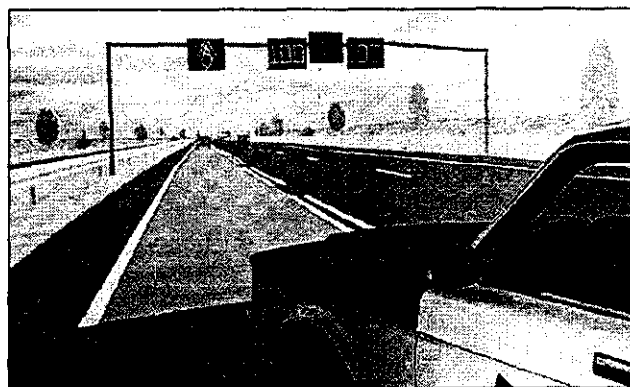
In bijlage IV is een tabel opgenomen, waarin de gemeten en de werkelijke breedte van een aantal voertuigen worden vergeleken. Hierin is de fout meegenomen, die bij het schatten van het raakpunt met de weg wordt gemaakt. Op basis van de resultaten in deze bijlage, wordt geschat dat de laterale positie van het midden van een voertuig met een nauwkeurigheid van 2 centimeter bepaald kan worden.

9. Onderzoekopzet interactieve rijsimulator

In dit hoofdstuk zal een meetmethode met de rijsimulator worden beschreven. Hiermee wordt geprobeerd een gedetailleerd beeld te vormen van de inhaalmanoeuvre, zoals bestuurders deze uitvoert. Daarbij zullen, in aansluiting op de methode met de video-observatie, alleen de voertuigtypen *personenauto* en *vrachtwagen* beschouwd worden. Alvorens een methode te beschrijven wordt voor de volledigheid eerst nog aangegeven welke aspecten van het rij- en inhaalgedrag met de rijsimulator onderzocht gaan worden. Vervolgens volgt een korte beschrijving over onder andere de vormgeving van de weg en de selectie van de proefpersonen. Daarna volgt een uitgebreide beschrijving van de opzet van de meting. In het analyseplan wordt aangegeven op welke manier de verkregen gegevens geanalyseerd kunnen worden. Waarna tot slot een korte beschouwing over de proefmeting volgt.

9.1 Het instrument

Een rijsimulator is een instrument om het rij- en kijkgedrag van personen te onderzoeken. De personen rijden hierbij in een gesimuleerde omgeving, die zowel qua omgeving (weg, belijning, bebording) als qua verkeer (samenstelling en intensiteit) naar eigen inzicht kunnen worden vormgegeven. De rijsimulator is daarmee een uitermate geschikt instrument om bepaalde aspecten van het rij- en inhaalgedrag op een hoog detailniveau te onderzoeken. Immers, door steeds met één parameter te variëren en de overige parameters constant te houden, wordt per parameter duidelijk, wat de invloed en de gevoeligheid ervan is.



figuur 25. Rijsimulator van TNO-TM

STREAM-project

Met de rijsimulator kunnen vrijwel alle aspecten, waarvan verwacht wordt dat deze van invloed zijn op het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken, onderzocht worden. Die aspecten die significant van invloed blijken, zullen uiteindelijk tot aanpassingen van het bestuurdersmodel van MIXIC leiden. Hierdoor zal het overige verkeer het rij- en inhaalgedrag dan eveneens 'aanpassen' aan de situatie met versmalde rijstroken. Een in het kader van dit onderzoek met dit instrument interessant project is het STREAM-project. Dit project is erop gericht een koppeling tussen het microscopische simulatiemodel MIXIC en de rijsimulator van TNO-TM te realiseren. Deze koppeling houdt in, dat een bestuurder in de rijsimulator plaats neemt en vervolgens één van de voertuigen in het simulatiemodel MIXIC bestuurt. De toepassingsmogelijkheid van dit project voor dit onderzoek is, dat (eventueel) middels een iteratief proces een adequate modellering van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken in MIXIC kan worden nagestreefd.

9.2 Te onderzoeken aspecten

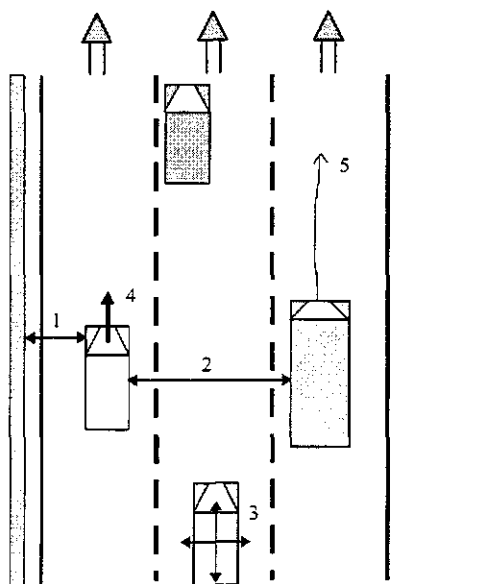
Zoals eerder in tabel 9 (blz 54) is weergegeven, kunnen vrijwel alle aspecten met een rijsimulator onderzocht worden. Echter, vanwege de invloed van het observeren van de proefpersonen op het individuele rijgedrag van de bestuurders en het gegeven van de (mogelijke) relatieve validiteit van de resultaten uit de rijsimulator, wordt de rijsimulator in dit onderzoek alleen toegepast om een gedetailleerd beeld te vormen van het inhaalgedrag van bestuurders. Daarbij worden vooral de positionering van het 'geobserveerde voertuig' en de snelheidsaanpassingen ten opzichte van de omringende objecten beschouwd.

Kortom, de volgende aspecten worden met behulp van de rijsimulator onderzocht:

1. De minimale laterale afstand (γ_l, γ_k), die een bestuurder accepteert tot een bepaald type voertuig in de aangrenzende rijstrook (zowel links als rechts) of een vast element (links). Dit aspect zal in belangrijke mate afhangen van de gereden snelheid en de typen objecten, die bij de manoeuvre betrokken zijn;
2. Het kritische hiaat $d_{lat,jk, min}$, dat een bestuurder tijdens een passeermanoeuvre accepteert. Afgezien van het type bestuurder zal dit aspect afhankelijk zijn van de snelheid waarmee de betrokken voertuigen rijden, alsmede van de bij de manoeuvre betrokken typen objecten;
3. De positionering van de voertuigen gedurende de inhaalmanoeuvre. Dit omvat zowel de laterale posities van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen ten opzichte van elkaar als de longitudinale posities van deze voertuigen;
4. Het snelheidsverloop van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen. Dit zal onder andere afhangen van het hiaat tussen twee voorliggende objecten, dat een bestuurder ter beschikking heeft;

Daarnaast kan in de rijsimulator het volgende worden nagegaan:

5. De mate waarin de vetergang van de voertuigen door de rijstrookbreedte en de combinatie van objecten beïnvloed wordt, zoals bijvoorbeeld op een smalle rijstrook met zowel links als rechts een object.



1. De minimale laterale afstand (γ_l, γ_k), die bestuurders houden tot een bepaald type voertuig in de aangrenzende rijstrook (zowel links als rechts) of een vast element (links);
2. Het kritische hiaat $d_{lat,jk, min}$, dat een bestuurder tijdens een passeermanoeuvre accepteert;
3. De (laterale en longitudinale) positionering van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen ten opzichte van elkaar;
4. Het snelheidsverloop van de bij de inhaalmanoeuvre betrokken voertuigen;
5. De mate waarin de vetergang van de voertuigen door de rijstrookbreedte en de combinatie van objecten wordt beïnvloed.

figuur 26. Te onderzoeken aspecten met de rijsimulator

Wanneer van bovenstaande aspecten voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan worden geverifieerd of het bestuurdersmodel van MIXIC overeenkomstig de werkelijkheid gemodelleerd is. Wanneer dit niet het geval blijkt, kunnen daar waar nodig aanpassingen aan het model worden gedaan. In de volgende paragrafen wordt de handelwijze beschreven, zodat de noodzakelijke en gewenste gegevens verkregen worden.

9.3 Voorbereiding van de meting

Een goede meting met een rijsimulator vraagt om een goede voorbereiding. Daarom moet voldoende aandacht worden besteed aan zowel de specifieke vormgeving van de weg en de omgeving, de gewenste verkeerssituatie als de samenstelling en grootte van de groep proefpersonen. Deze en andere aspecten van de opzet van een onderzoek met een rijsimulator worden in deze paragraaf beschreven.

9.3.1 Gewenste situatie

Met de rijsimulator kan elke situatie gecreëerd worden, die volledig aan de wens van de onderzoeker voldoet. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de vormgeving van de weg, de verkeerssituatie en de licht- en weersomstandigheden.

Algemene vormgeving van de weg

Omdat er weinig van de interactie tussen de voertuigen op versmalde rijstroken bekend is, wordt het verstandig geacht met de meest eenvoudige situatie te beginnen. Dit is de situatie waarbij de weg recht en vlak is. Bij een weg in rechtstand worden afwijkingen in de resultaten als gevolg van bijsturen in de bochten voorkomen. En bij een vlakke weg is het gemeten snelheidsverloop van de geobserveerde bestuurder 'zuiver'.

Aan de configuratie van de rijstroken wordt in de volgende subparagraaf aandacht besteed. Omdat in het onderzoek een drietal fasen onderscheiden worden, waarin de rijstrookbreedtes zullen variëren, zal dit uitgebreider worden toegelicht.

Verder kan de omgeving van de weg worden voorzien van bebording, bebouwing en beplanting, om de bestuurder in een zo natuurlijk mogelijke omgeving te laten rijden.

Intensiteit en samenstelling van het verkeer

De gewenste verkeerssituatie in dit onderzoek is zodanig, dat de intensiteit hoog is ($\pm 90\%$ van de capaciteit) met een voldoende hoog percentage vrachtverkeer ($\pm 10\%$), zodat enerzijds de verkeerssituatie representatief is voor de werkelijkheid en anderzijds om de bestuurders voldoende manoeuvres met de verschillende typen voertuigen uit te kunnen laten voeren.

Weersomstandigheden

Zoals gezegd wordt in eerste instantie van de meest eenvoudige situatie uitgegaan. In deze situatie hebben de weersomstandigheden en de lichtintensiteit geen invloed. Voor de gesimuleerde weersomstandigheden betekent dit, dat de weg droog moet zijn en er geen neerslag valt. Onderzoek naar het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken in andere weersomstandigheden zullen te zijner tijd wellicht volgen. Omdat ook de invloed van de lichtintensiteit niet onderzocht wordt, zullen de proefpersonen met 'daglicht' geobserveerd worden.

9.3.2 Wegconfiguraties

Bovenstaand is beschreven hoe de weg en zijn omgeving globaal moeten worden vormgegeven. Dit om uit te sluiten, dat bepaalde (ongewenste) factoren de resultaten beïnvloeden.

Het onderzoek met de rij simulator zal in drie fasen worden uitgevoerd. In de eerste en tweede fase worden met name de interactie tussen de voertuigen en de verandering van de interactie bij verschillende rijstrookbreedtes onderzocht. In de derde fase wordt met name het rij- en inhaalgedrag onder normale condities bij verschillende rijbaanindelingen onderzocht.

eerste en tweede fase

In de eerste en tweede fase zal onderzocht worden, wat de invloed van naastliggende objecten is bij verschillende rijstrookbreedtes op de acties van de bestuurder van het geobserveerde voertuig. Voor het bepalen van de interactie tussen de verschillende objecten wordt voor de rijstrook, waarin het geobserveerde voertuig zich bevindt, een breedte van respectievelijk 3.25, 2.75 en 2.25 meter voorgesteld. Er wordt voor deze drie rijstrookbreedtes gekozen, omdat ten eerste de grootte van het kritisch hiaat onbekend is, en ten tweede omdat met betrekking hiertoe onbekend is, wat de breedte van de rijstrook voor invloed heeft op het accepteren van de hiaten en op de invloed van andere objecten. Voor de overige rijstroken wordt een breedte van 3.25 meter voorgesteld.

derde fase

In de derde fase van dit onderzoek zal met name het rij- en inhaalgedrag onder normale condities onderzocht worden. Daarvoor zal met de rijbaanindeling gevarieerd worden. De variatie in rijstrookconfiguraties moet daarbij zodanig zijn, dat verwacht mag worden, dat er tussen de verschillende configuraties significante verschillen in het waargenomen gedrag optreden.

De eerste configuratie volgt min of meer uit de Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen. Bij een ontwerpsnelheid van 90km/u mag de breedte van de rijstrook 3.25 meter bedragen. Omdat de snelheidslimiet tijdens het actief zijn van de dynamische rijbaanindeling 70 of 90km/u bedraagt, wordt als bovengrens de configuratie vluchtstrook-3.25-3.25-3.25¹⁷ gehanteerd.

De aanleiding van dit onderzoek is om te verifiëren of de rijbaanindeling vluchtstrook-3.00-2.75-2.25 leidt tot de gewenste effecten (verbeterde doorstroming), zonder daarbij concessies te doen aan bijvoorbeeld de verkeersveiligheid. Daarom wordt deze configuratie eveneens in het onderzoek betrokken.

Omdat beide configuraties sterk verschillen, wordt een derde configuratie wenselijk geacht. De configuratie die daarbij in beeld komt, is min of meer gelijk aan de rijbaanindeling op de A27 tussen de afslag 'Houten' en het knooppunt 'Everdingen'. De rijstroken bedragen op dit wegvak respectievelijk 3.25, 3.00 en 2.70 meter. Deze configuratie zal tevens dienen om te verifiëren of er sprake is van absolute dan wel relatieve validiteit. Indien er sprake is van relatieve validiteit, wordt deze configuratie ook gebruikt om de relatieve validiteit vast te stellen. Deze configuratie is daarvoor uitermate geschikt, omdat op dit moment

¹⁷ Van links naar rechts: vluchtstrook, rechter rijstrook, middelste rijstrook en linker rijstrook.

verschillende evaluaties gestart zijn of gestart worden, waarbij diverse gegevens verzameld worden, zowel met een video-observatie als met een geïnstrumenteerd voertuig.

tabel 12. Configuraties van rijstroken fase 2

rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
3.25	3.25	3.25
3.25	3.00	2.75
3.00	2.75	2.25

Afmetingen volgens de ROA (1993)

9.3.3 Benodigde steekproefomvang

Voor het schatten van de benodigde steekproefomvang, moet de standaarddeviatie bekend zijn. Omdat de meeste parameters, die met de rijsimulator onderzocht zullen worden, nog zelden onderzocht zijn, zijn hiervan ook geen grootheden zoals gemiddelde en standaarddeviatie bekend. Het is dan ook nauwelijks mogelijk een goede indicatie te krijgen van de benodigde steekproefomvang.

Een mogelijkheid is om de standaarddeviatie te schatten op basis van (arbitraire) aannames. Een andere mogelijkheid is om eerst een pilot uit te voeren om een indicatie van de standaarddeviatie te krijgen, waarna vervolgens aan de hand van de resultaten van deze pilot de steekproefomvang bepaald wordt. De tweede methode lijkt het meest betrouwbaar te zijn en verdient daarom de voorkeur. (Ter illustratie van de onbetrouwbaarheid van het schatten van de steekproefomvang, is voor de bepaling van het kritisch hiaat in bijlage V weergegeven hoe de minimale steekproefomvang afhangt van σ , gegeven een zekere betrouwbaarheid en nauwkeurigheid.)

Omdat geprefereerd wordt eerst een pilot uit te voeren, kan nog niet worden aangegeven hoeveel proefpersonen bij het onderzoek betrokken moeten worden. Voor de pilot kan volstaan worden met 15 à 20 personen. (In feite betekent het uitvoeren van de pilot, als bedacht wordt dat een experiment meestal 40 personen omvat, dat ongeveer de helft van het experiment reeds wordt uitgevoerd.)

9.3.4 Proefpersonen

Naast het gegeven, dat de omvang van de steekproef voldoende groot moet zijn om voldoende gegevens van verschillende personen te verzamelen, moet er ook voldoende variatie tussen de proefpersonen zijn (o.a. leeftijd en rijervaring). Met andere woorden de groep proefpersonen moet representatief zijn voor een gemiddelde spitsperiode (dit is immers de periode dat de maatregel in werking treedt). De meeste proefpersonen zullen daarom tot de groep 'forensen' behoren, die vrijwel dagelijks in de spits reizen, redelijk ervaren zijn en relatief veel kilometers per jaar rijden (meer dan 20.000 km per jaar). Een klein aantal personen zal tot een andere groep behoren (bv. 'recreatief'), omdat ook deze personen met de maatregel geconfronteerd kunnen worden.

9.4 Opzet van het rijsimulatorexperiment

In dit experiment met de interactieve rijsimulator wordt een drietal fasen onderscheiden. Na iedere fase vindt er een update van het bestuurdersmodel plaats. In de eerste fase wordt bij geconditioneerd verkeer (de posities en snelheden van het overige verkeer liggen dan vast) de invloed van de rijstrookbreedte op de verschillende aspecten onderzocht. In de tweede fase zal eveneens de invloed van de rijstrookbreedte onderzocht worden, maar het

verkeer rijdt nu met het geüpdate bestuurdersmodel. De snelheid blijft in deze fase overigens geconditioneerd. In de derde fase worden de proefpersonen geobserveerd op een drietal rijbaanindelingen onder 'normale' condities. De verschillende fasen zullen in deze paragraaf worden toegelicht.

9.4.1 Kennismaking met de rijsimulator

Alvorens met de metingen van start te gaan, worden de proefpersonen allen uitgenodigd voor een kennismakingssessie met de rijsimulator. De proefpersonen worden daarbij onder andere in de gelegenheid gesteld om in de rijsimulator te rijden. Daarnaast krijgen zij een korte introductie over de gang van zaken tijdens de meting. Om de proefpersonen zo min mogelijk te beïnvloeden, worden zij tijdens deze sessie met betrekking tot het experiment alleen van de hoogstnoodzakelijke informatie voorzien. Aanvullende informatie zal later, vlak voor de meting zelf, worden verstrekt.

9.4.2 Opzet eerste fase

De eerste fase van dit rijsimulatorexperiment is bedoeld om eerste indicatieve gegevens te verzamelen. Het uitgangspunt van dit experiment is immers, dat er weinig tot geen gegevens van de gebruikte parameters beschikbaar zijn. Met de in deze fase verkregen gegevens kunnen van verschillende parameters (indicatieve) waarden worden bepaald. Met deze parameters kunnen vervolgens verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken beschreven worden (zie hoofdstuk 3). Daarbij moet gedacht worden aan de minimale laterale afstanden, het kritisch hiaat, positionering van het voertuig tussen twee objecten, enz.

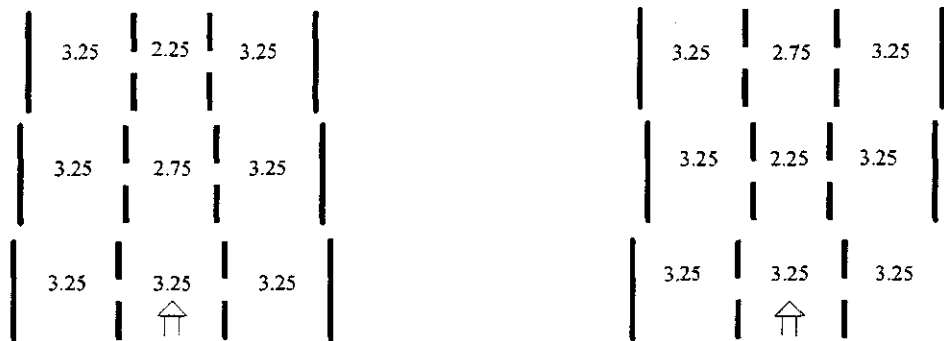
In deze eerste fase wordt het overige verkeer helemaal geconditioneerd. Daarmee liggen zowel de (laterale) posities als de snelheid van de voertuigen vast. Voor een dergelijke aanpak wordt gekozen, omdat vooralsnog onduidelijk is hoe bestuurders van voertuigen (in smalle rijstroken) op ander voertuigen in naastgelegen rijstroken of vast objecten langs de rijbaan reageren. De wijze waarop de proefpersonen op de geconditioneerde voertuigen of een vast object reageren, moet een eerste indruk geven van het rij- en inhaalgedrag op smalle rijstroken en de reactie op andere voertuigen.

Het effect van de rijstrookbreedte en de invloed van andere objecten wordt overigens alleen voor voertuigen in de middelste en linker rijstrook onderzocht. De rechter rijstrook grenst bij een dynamische rijbaanindeling in principe aan de vluchtstrook, waarop zich onder normale omstandigheden geen objecten bevinden. Het effect van andere objecten op het verkeer in de rechter rijstrook wordt dan ook verreweg het kleinst geacht en daarom niet beschouwd.

Om na te gaan wat het effect van de rijstrookbreedte op de verschillende aspecten is, wordt voor de rijstrook, waarin het geobserveerde voertuig zich bevindt (middelste of linker rijstrook), een drietal breedtes onderzocht, namelijk 3.25, 2.75 en 2.25 meter.

Om fouten als gevolg van gewenning uit te vlakken, wordt de groep proefpersonen in vieren gesplitst (voor het volledig balanceren blijken er te veel mogelijkheden, waardoor de groepen te klein worden). Twee van de vier groepen starten de meting op de middelste rijstrook en eindigen op de linker rijstrook, en twee groepen starten op de linker rijstrook en eindigen de meting op de middelste rijstrook.

De twee groepen, die op dezelfde rijstroken starten, worden de drie rijstroken (met verschillende breedtes) in een verschillende volgorde aangeboden. Omdat de gedragsverandering van een normale naar een smalle rijstrook voor het project 'dynamische rijbaanindeling' het meest interessant is, worden de volgordes 3.25→2.75→2.25 en 3.25→2.25→2.75 voorgesteld (figuur 27). Dit geldt dus voor zowel de voertuigen in de middelste als linker rijstrook.



figuur 27. Volgordes aangeboden rijstrookbreedtes.

Elke proefpersoon wordt dus achtereenvolgens met drie rijstrookbreedtes op zowel de middelste als linker rijstrook geconfronteerd. Daarbij is het van belang, dat de proefpersonen bij iedere rijstrookbreedte voldoende inhaalmanoeuvres kunnen uitvoeren, zodat voldoende gegevens verkregen worden. Daarvoor worden secties met een lengte van 6 kilometer voldoende lang geacht¹⁸.

Het vaststellen van het kritisch hiaat zal in deze fase als een rode draad door het experiment lopen. Het kritisch hiaat (van elke proefpersoon) wordt namelijk bepaald door de proefpersoon een serie van verschillende hiaten aan te bieden. De aangeboden hiaten variëren daarbij in zowel grootte, laterale positie als begrenzing (personenauto, vrachtwagen, barriër, etc.). Door met de hiaten te variëren worden gegevens verkregen, waarmee een aantal parameters bepaald kunnen worden (bijlage VI).

De instructie, die de proefpersonen hierbij krijgen, is om zoveel mogelijk voertuigen te passeren of tenminste pogen te passeren. Daarbij wordt de proefpersonen gevraagd, de passeermanoeuvres zodanig uit te voeren, zoals zij in de werkelijkheid ook zouden doen. Het is dus niet de bedoeling dat bestuurders alle mogelijke risico's nemen om de voorliggers te passeren.

Welke serie hiaten wordt de bestuurder dan aangeboden? Op deze vraag zal in volgende alinea's antwoord worden gegeven. Bij de aangeboden hiaten is het van belang, dat de voertuigen, die het hiaat begrenzen, de deelstreep niet overschrijden. Verder moeten de voertuigen een gelijke snelheid hebben, zodat het hiaat in stand blijft. Om het verkeersbeeld realistisch te maken, worden ook voertuigen in dezelfde rijstrook als het geobserveerde voertuig gesimuleerd.

¹⁸ De lengte van een sectie is als volgt bepaald. Het verkeer rijdt met een snelheid van ongeveer 70km/u bij een intensiteit van 2000pae/u. De volgtijd bedraagt dan 1,8 seconde en de volgafstand 35 meter. Stel dat de proefpersoon 80km/h rijdt (in de simulator wordt over het algemeen sneller gereden), dan is het snelheidsverschil dus 10km/u. Een inhaalmanoeuvre duurt dan 12,6 seconde en de afstand die de proefpersoon hiervoor gebruikt bedraagt dan 280 meter. Voor de schatting van het kritisch hiaat per combinatie van objecten per proefpersoon zullen ongeveer 10 manoeuvres beschouwd worden. De lengte van een sectie komt daarmee op: $2 \times 10 \times 280 = 5600$ meter ≈ 6 kilometer.

Uit de literatuur is gebleken dat de objectafstandsmarge 1.00 meter bedraagt bij een snelheid van 90km/u of minder. Dit betekent, dat een vast object op een afstand groter of gelijk aan 1.00 meter geen effect heeft op de positionering binnen de rijstrook en de snelheid van het voertuig. Een hiaat groter of gelijk aan de voertuigbreedte plus twee maal de objectafstandsmarge zou in principe dus door elke bestuurder geaccepteerd worden. Het hiaat heeft dan in ieder geval geen effect op de snelheid van het passerende voertuig. De grootte van het kritisch hiaat is onbekend, maar verwacht wordt dat deze ongeveer de voertuigbreedte (exclusief spiegels) plus $2 \times 0.50\text{m}$ bedraagt.

Afhankelijk van de rijstrookbreedte kunnen de bestuurders allerlei hiaten worden aangeboden. Het is in dit onderzoek in ieder geval belangrijk om na te gaan, wat per bestuurder per rijstrookbreedte en typen objecten het kleinste hiaat is, dat hij accepteert. De voorkeur gaat uit om verschillende hiaatgroottes willekeurig aan te bieden. Welke hiaten (grootte) de proefpersonen worden aangeboden, zal uit een proefmeting moeten blijken. Hiermee wordt dan een eerste indicatie van de grootte van het kritisch hiaat verkregen. Rond de vermoedelijk grootte van het kritisch hiaat kan het aangeboden met stappen van 10cm gevarieerd worden. Bij duidelijk grotere hiaten kunnen de tussenstappen grover worden gevarieerd. Deze hiaten leveren met name informatie op over de positie van de voertuigen in het hiaat.

Omdat er een reële kans bestaat, dat een bestuurder een bepaald hiaat niet accepteert, kan zich de situatie voordoen, dat de bestuurder de rest van de meting achter zijn voorligger(s) blijft rijden. Om zulke situaties te voorkomen, worden de laterale posities van de gesimuleerde voertuigen na een bepaalde tijd gewijzigd (er wordt dan een nieuw hiaat gecreëerd). Deze tijd moet niet te kort gekozen worden. Immers, de hiaatacceptatie van de bestuurder kan veranderen, naarmate hij langer achter zijn voorligger(s) rijdt. De bestuurder accepteert bijvoorbeeld in eerste instantie een hiaat van $w_i + 1.00\text{m}$ niet, maar na enige tijd besluit hij toch zijn voorligger(s) te passeren (nadat hij bijvoorbeeld de voertuigbewegingen van zijn voorligger(s) heeft beoordeeld).

De overige aspecten, zoals positionering en snelheidsverloop, kunnen nu eenvoudig uit de handelingen, die de bestuurder heeft verricht, worden afgeleid. De rijsimulator legt immers de positie en de snelheid van sample tot sample (0,1s) vast. Daarmee kunnen alle bewegingen en acceleraties van het geobserveerde voertuig, maar ook van de omringende voertuigen, in kaart worden gebracht.

Door alle resultaten van alle proefpersonen naast elkaar te leggen, kunnen bepaalde patronen in het rijgedrag herkenbaar worden over bijvoorbeeld de positionering of het snelheidsverloop. Van deze patronen kan geprobeerd worden ze te kwantificeren, waarna ze vergeleken kunnen worden met het huidige bestuurdersmodel van MIXIC. Indien het waargenomen rijgedrag niet overeenkomt met de modellering van een aspect van het bestuurdersmodel, zal het bestuurdersmodel aangepast worden, zodanig dat het overeenkomt met het waargenomen gedrag.

9.4.3 Opzet tweede fase

De tweede fase verloopt geheel analoog aan de eerste fase met één verschil, dat het overige verkeer nu met de geüpdate versie van het bestuurdersmodel rijdt. De snelheid van voertuigen blijft in deze fase overigens nog wel geconditioneerd. De aangeboden hiaten worden zo in stand gehouden (niet de grootte van het hiaat maar het bestaan van het hiaat).

Voor de overige voertuigen betekent dit het volgende. Ten eerste rijden de overige voertuigen met een vetergang over de weg. De koers van de voertuigen is daarmee voor de proefpersoon een onzekere factor geworden. In deze fase wordt dan ook vooral onderzocht wat de onzekere koers (vetergang) van de voorliggers voor effect heeft op het inhaalgedrag (accepteren van hiaten, passeersnelheid, etc.). Tevens zullen de voertuigen qua positie reageren op het voertuig dat de proefpersoon bestuurt. Het bestuurdersmodel is nu immers in staat om de reactie (in laterale positie) op andere voertuigen te simuleren. Dit laatste is een gegeven, waarover de proefpersonen niet geïnformeerd mogen worden. De proefpersonen kunnen dan van dit gegeven misbruik maken bij het passeren. Wat het effect van met name de vetergang is op de te onderzoeken parameters, moet dus uit deze fase van het onderzoek blijken. Met de nieuwe gegevens kunnen de (indicatieve) waarden voor de parameters worden bijgewerkt. De verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken kunnen daarmee na deze fase beter beschreven worden.

9.4.4 Opzet derde fase

In de derde fase zal met name de invloed van de rijbaanindeling op het rij- en inhaalgedrag onder normale condities worden beschouwd. Dit wordt onderzocht door de rijbaanindeling, gedurende een derde rit van de proefpersonen, te variëren. De indeling van de rijbaan varieert daarbij tussen een drietal configuraties, zoals eerder in paragraaf 9.3.2 is vastgesteld (zie ook onderstaande tabel). De proefpersonen mogen daarbij vrij over de weg rijden en zijn dus niet verplicht in een bepaalde rijstrook te blijven rijden. De overige voertuigen worden door het aangepaste bestuurdersmodel aangestuurd (ongeconditioneerd).

Deze derde fase heeft een tweetal functies. Ten eerste kan worden nagegaan hoe een proefpersoon zich onder normale condities op versmalde rijstroken gedraagt. Daarmee worden wederom nieuwe en aanvullende gegevens verkregen, waarmee de modellering van het rij- en inhaalgedrag kan worden verbeterd en verfijnd. En ten tweede kan in deze fase worden nagegaan of de rijbaanindeling 3.00-2.75-2.25, zoals deze voor de dynamische rijbaanindeling is voorgesteld, voldoet.

tabel 13. Onderzochte rijbaanindelingen

rijbaanindeling	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
1	3.25	3.25	3.25
2	3.25	3.00	2.75
3	3.00	2.75	2.25

Afmetingen volgens de ROA (1993)

Wederom zal de groep proefpersonen in kleinere groepen worden opgesplitst om 'onjuiste' waarnemingen als gevolg van gewenning uit te vlakken. Ditmaal zal dat in zes groepen zijn. Er kan dan volledig tussen de verschillende rijbaanindelingen worden gebalanceerd door alle volgordes (even vaak) te laten voorkomen¹⁹.

Nadat de proefpersonen een stuk over de weg hebben gereden, waarop weer even aan de rijsimulator gewend kan worden, worden de bestuurders met één van de volgordes (van de rijbaanindelingen) geconfronteerd. De bestuurders wordt daarbij gevraagd te rijden zoals

¹⁹ De volgordes, waarin de drie rijbaanindelingen kunnen voorkomen, zijn: 123, 132, 213, 231, 312, 321.

zij alledaags doen. De bestuurder zal gedurende deze rit andere voertuigen passeren, maar wellicht ook gepasseerd worden. Dit laatste kan nog een interessant aspect van de interactie tussen de voertuigen aan het licht brengen, namelijk het uitwijken van het gepasseerde voertuig.

De afzonderlijke secties, met een bepaalde rijbaanindeling, hebben alle een lengte van 6 kilometer (zie §9.4.2)

De gegevens, die in deze derde fase worden verkregen, dienen om het bestuurdersmodel te verbeteren en verder te verfijnen. Indien er naar aanleiding van deze derde fase veel wijzigingen in het bestuurdersmodel moeten worden aangebracht, zal deze fase van het onderzoek opnieuw worden uitgevoerd. Voor deze fase zou de realisatie van het STREAM-project uitermate geschikt zijn, omdat wijzigingen direct in MIXIC zijn aan te brengen en het resultaat van deze wijzigingen daarmee direct waarneembaar is.

9.5 Analyseplan

De analyse van de gegevens, verkregen gedurende de metingen met de rijsimulator, verloopt in grote lijnen analoog aan de analyse van de gegevens van de video-observatie. Voor het analyseplan wordt dan ook verwezen naar §8.4 en bijlage III.

Een uitzondering vormt de analyse voor de bepaling van de verdeling van het kritisch hiaat. Van het kritisch hiaat worden immers geen exacte gegevens verkregen, maar intervallen waarbinnen dit ligt. De analyse, die hiervoor noodzakelijk is, wordt in deze paragraaf behandeld.

Daarnaast moet als onderdeel van de analyse worden geverifieerd of er sprake is van absolute of relatieve validiteit. Indien er sprake is van de relatieve validiteit moet de mate van validiteit van de resultaten worden vastgesteld. Hiertoe kunnen de resultaten van de configuratie vluchtstrook-3.25-3.00-2.75 vergeleken worden met de resultaten van een video-analyse en van een meting met een geïnstrumenteerd voertuig op de A27 (plusstrook).

9.5.1 Gegevens

De gegevens die uit de metingen met de rijsimulator zijn verkregen, zijn ten eerste datasets met hiaten tussen twee personenauto, tussen een vrachtauto en een personenauto en tussen een personenauto en een vast object (barrier of geleiderail) met daarbij de vermelding of deze wel of niet geaccepteerd zijn. Daarnaast wordt er beschikt over datasets van zowel het geobserveerde voertuig als de omringende voertuigen met gegevens over snelheden en posities. Hieruit kunnen onder andere de minimale volgafstand x , de dwarsposities en vetergang worden bepaald.

9.5.2 Analyse

De analyse van de meeste datasets verloopt in hoofdlijnen analoog aan de analyse van de video-meting. Van de steekproeven worden het gemiddelde, de variantie en de standaarddeviatie bepaald en aan de hand van de gepresenteerde histogrammen wordt het type verdeling geschat, waarna getoetst wordt of deze verdeling juist is (§8.4 en bijlage III: deel a t/m d).

Voor de bepaling van de verdeling van de kritische hiaten wordt echter een andere methode toegepast. Het gemiddelde en de standaarddeviatie zijn immers niet direct uit de gegevens

te bepalen. Per bestuurder is niet de exacte waarde van het kritisch hiaat bekend, maar een interval waarbinnen zijn kritische hiaat ligt. Deze intervallen zijn verkregen door elke bestuurder een reeks van hiaten aan te bieden, waarbij de bestuurder bepaalde hiaten heeft geaccepteerd en bepaalde hiaten heeft verworpen. De ondergrens van dit interval wordt gevormd door het grootste verworpen hiaat uit de serie (g_1) en de bovengrens door het kleinste geaccepteerde hiaat (g_2).

Om nu het gemiddelde kritische hiaat en de standaarddeviatie van de kritische hiaten te bepalen, wordt gebruik gemaakt van de Maximum Likelihood-methode. Bij deze methode wordt de kans van elke bestuurder i , dat het kritische hiaat binnen zijn interval ligt, met elkaar vermenigvuldigd. De verkregen vergelijking wordt vervolgens gemaximaliseerd voor een parametervector θ , welke afhankelijk is van de gekozen verdelingsfunctie. Deze Likelihoodfunctie ziet er als volgt uit:

$$L(g_{1,i}; g_{2,i}; \theta) = \prod_{i=1}^n [F(g_{2,i}; \theta) - F(g_{1,i}; \theta)] \quad (9)$$

waarin:

$F(g; \theta)$: de gekozen verdelingsfunctie met parametervector θ (waarbij θ afhankelijk is van de gekozen verdelingsfunctie),

$g_{1,i}$: grootste verworpen hiaat van bestuurder i ,

$g_{2,i}$: kleinste geaccepteerde hiaat van bestuurder i .

(bron: Botma, 1997)

9.5.3 Resultaten

Een van de resultaten die na afloop van de metingen met de rijsimulator is verkregen, is een verdelingsfunctie van de kritische hiaten. Van deze verdelingsfunctie is met name 85-percentielwaarde interessant. Deze waarde geeft aan dat 85% van de bestuurders een bepaald hiaat accepteert en geeft daarmee een indicatie of er voor de doorstroming van het verkeer onoverkomelijke problemen verwacht kunnen worden of niet. Aan de hand van deze verdeling kan bijvoorbeeld worden vastgesteld bij welke rijstrookbreedte voertuigen elkaar nauwelijks meer passeren.

Uit het kritisch hiaat en de kennis omtrent de positionering van het voertuig tussen twee objecten kan de minimale laterale afstand tot andere objecten γ worden herleid. Vooral de positionering tussen twee objecten in kan waardevolle informatie opleveren.

Verder kunnen voertuigtrajectoriën geconstrueerd worden, waardoor een beeld van het snelheids- en positieverloop van het inhalende voertuig ten opzichte van de omringende voertuigen gevormd kan worden. Door naar de longitudinale posities van de voertuigen te kijken in relatie tot de snelheden van de voertuigen en de hiaten voor voertuig i kan de volgafstand x worden bepaald. De longitudinale afstand zal dan in opeenvolgende samples gelijk zijn, waaruit dan de minimale volgafstand tussen twee voertuigen in verschillende maar aangrenzende rijstroken bepaald kan worden.

9.6 Proefmeting

Er wordt geen proefmeting met de interactieve rijsimulator uitgevoerd. Voordat een proefmeting uitgevoerd kan worden, zal eerst het een en ander geprogrammeerd moeten worden. Er moet hierbij gedacht worden aan bijvoorbeeld de rijbaanindelingen en de combinaties en posities van de voertuigen. Daarnaast moet de rijsimulator ook nog eens

beschikbaar zijn. Er kan daarom op dit moment geen proefmeting worden uitgevoerd. Om toch te controleren of met de beschreven methodiek die gegevens verkregen kunnen worden, zoals verwacht wordt, is contact gezocht met dhr. Hogema van TNO Technische Menskunde. Dhr. Hogema heeft de tekst over de onderzoeksopzet met de rijimulator doorgenomen en voorzien van commentaar. Dit commentaar is in de door u zojuist gelezen tekst verwerkt.

10. Resultaten video-observatie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de video-observaties van de A2 ter hoogte van Breukelen en van de A12 tussen De Meern en Woerden²⁰ gepresenteerd. Op beide locaties is de indeling van de rijbaan verschillend en wordt de rijbaan (links) al dan niet afgeschermd door een barrière (bijlage VII). De resultaten van de A2 dienen hierbij als referentie, omdat de rijbaanindeling hier aan de ROA voldoet en de geleiderail op een redelijke afstand van de rijbaan staat. De resultaten van de A12 dienen met name om na te gaan, wat het effect is van een barrière (in combinatie met smalle rijstroken) op de keuze van de dwarspositie in de (linker) rijstrook bij verschillende combinaties van voertuigen. Met behulp van het softwarepakket ViVAtraffic zijn uit videobeelden de laterale posities van de voertuigen uitgelezen. De nauwkeurigheid waarmee de posities van de voertuigen zijn bepaald, is hierbij circa 2cm. Met dit softwarepakket is tevens van de mogelijkheid gebruik gemaakt om de snelheden van de voertuigen te bepalen (indien de beelden daar geschikt voor zijn).

Na analyse van de verzamelde gegevens wordt onder andere kennis omtrent het type verdeling van de dwarsposities en de snelheden van de voertuigen verkregen. Daarbij wordt, zoals eerder is aangegeven, van bepaalde combinaties van voertuigen en vaste objecten aan de zijde van de rijbaan uitgegaan (zie bijlage II). Wanneer een combinatie van voertuigen en/of een vast object als een combinatie wordt beschouwd, wordt in de volgende paragraaf behandeld. Vervolgens volgt een korte beschouwing over de uitgevoerde analyse van de gegevens, waarna de resultaten op verschillende manieren belicht worden. De resultaten zullen informatie verschaffen over onder andere de dwarsposities van de voertuigen binnen hun rijstrook en de laterale afstand tussen voertuigen of tussen een voertuig en een vast object. Welke informatie de metingen hebben opgeleverd, wordt in de laatste paragraaf toegelicht.

10.1 Criteria geschiktheid videobeelden

Niet alle beelden zijn even geschikt om in de analyse betrokken te worden. Een reden hiervoor kan zijn dat de voertuigen in longitudinale richting te ver van elkaar af rijden, of dat de snelheid van de voertuigen te laag is. De beelden die in deze analyse worden beschouwd, dienen daarom aan een aantal criteria te voldoen:

- Ten eerste moeten de voertuigen 'naast elkaar' rijden. Dit betekent dat de voorkant van een voertuig voorbij de achterkant van het voorliggende voertuig moet reiken. Er kan dan met grote mate van zekerheid worden gesteld, dat de voertuigen onderling de grootste invloed op elkaars dwarsposities uitoefenen.
- Ten tweede moet de afstand van de voertuigen tot de camera niet te groot zijn (maximaal 50 à 60 meter). Wanneer de voertuigen zich te ver weg bevinden, kan de nauwkeurigheid van de waarneming niet worden gegarandeerd.

²⁰ In principe zouden ook beelden van de A27 tussen de afslag 'Houten' en het knooppunt 'Everdingen' beschikbaar komen. Door vertraging in het project, waarvoor de beelden gemaakt zouden worden, zijn deze beelden nog niet beschikbaar.

- Ten derde worden die beelden, waaruit blijkt dat een andere manoeuvre dan een passeermanoeuvre wordt uitgevoerd, niet in beschouwing genomen. Dit kan eenvoudig worden gedaan, omdat de beelden handmatig geselecteerd moeten worden.
- Als laatste moet de snelheid van de voertuigen nog voldoende hoog zijn. De snelheid is immers een van de factoren, die de onderlinge positie van de voertuigen beïnvloedt (Gunay, 1999). Die beelden, waaruit een te lage snelheid blijkt, moeten buiten beschouwing blijven. Derhalve worden alleen die beelden beschouwd, waarbij de snelheid van de voertuigen hoger is dan 50km/u.

Op basis van deze criteria is een selectie van videobeelden gemaakt, die vervolgens per combinatie zijn uitgelezen. In de volgende paragraaf zullen de hierbij verkregen datasets geanalyseerd worden.

10.2 Analyse van de gegevens

De analyse van de data is noodzakelijk om de datasets onderling te kunnen vergelijken. Door het vergelijken van de datasets wordt informatie verkregen omtrent de invloed van de rijstrookbreedte en de invloed van een barrier op de laterale posities van voertuigen. De werkwijze die bij deze analyse wordt gehanteerd, is daarbij conform aan het in paragraaf 8.4 beschreven analyseplan.

10.2.1 Extreme waarden

In bijlage VIII zijn de onbewerkte datasets weergegeven. De eerste stap in de analyse is de controle van de datasets op eventuele fouten. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van de boxplot. Omdat de beelden handmatig zijn geselecteerd, kan met zekerheid worden gesteld, dat fouten als gevolg van een (plotselinge) manoeuvre niet in de dataset aanwezig zijn. Ook beelden, waarbij het verkeer met te lage snelheid passeert, zijn niet geselecteerd. De boxplot dient derhalve alleen om inzicht in de verdeling van de data te krijgen en om de extreme waarden te visualiseren. In bijlage IX zijn van alle te analyseren datasets de randen van de boxen, de punten van de snorharen en de waarden die buiten de boxplots vallen opgenomen.

Uit de boxplots blijkt, dat het aantal extreme waarden gering is. Bovendien zijn de waarden niet dermate extreem, dat ze aanleiding geven tot verwijdering uit de betreffende datasets. Alle verkregen gegevens worden derhalve in verdere analyses meegenomen.

10.2.2 Statistische analyse van de datasets

Van de datasets zijn vervolgens de gemiddelde laterale posities, de standaarddeviaties, de variantie en het type verdeling bepaald. De gemiddelden, de standaarddeviaties en de varianties zijn onder andere weergegeven in bijlage X, in tabel 14 (blz 84) en tabel 15 (blz 85). In paragraaf 8.3.4 is een schatting gemaakt van de benodigde steekproefomvang. Daarbij is gebruik gemaakt van een geschatte standaarddeviatie σ . Nu de standaarddeviaties berekend zijn, wordt nagegaan wat de nauwkeurigheid van de gemiddelde laterale posities zijn bij een gegeven betrouwbaarheid van 95%. De resultaten zijn in bijlage XI opgenomen. Met 95% zekerheid kan gezegd worden dat de nauwkeurigheid van de (gemiddelde) laterale posities 5 centimeter of minder bedraagt. Vervolgens is het type verdeling van de gegevens bepaald. Wanneer de histogrammen in bijlage X beschouwd worden, lijkt een normale verdeling over het algemeen zeer

waarschijnlijk. Met de chikwadraattoets is gecontroleerd of dat inderdaad de passende verdeling is. Uit de gepresenteerde resultaten in bijlage XII kan met 95% zekerheid geconcludeerd worden, dat een normale verdeling voor alle data volstaat.

Tevens is nagegaan of de datasets van de combinaties binnen hetzelfde dwarsprofiel (combinatie 1, 2, 3 en 4 of combinatie 5, 6, 7 en 8) overeenkomsten vertonen wat betreft de laterale posities. Hiermee wordt nagegaan of het onderscheid in verschillende combinaties van objecten relevant is. Als dit onderscheid niet relevant blijkt, kunnen datasets mogelijk samengevoegd worden. Om dit te controleren worden de gemiddelde laterale posities en de standaarddeviaties van de combinaties voor dezelfde locatie getoetst. Hiervoor worden respectievelijk de t-toets en de F-toets toegepast. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage XIII. Het blijkt, dat met een zekerheid van 90% gesteld kan worden, dat zowel de gemiddelde laterale positie als de bijbehorende standaarddeviatie per combinatie van voertuigen op dezelfde locatie verschillend zijn (op één uitzondering na). Het wordt dus relevant geacht de verschillende combinaties afzonderlijk te blijven beschouwen, omdat de combinatie van invloed blijkt op de gemiddelde laterale posities en de standaarddeviatie van de laterale posities.

Tenslotte is van de afzonderlijke combinaties nagegaan of de positie van het ene voertuig in de rijstrook van invloed is op de positie van de voertuigen in de andere rijstroken. Dit is tot uitdrukking gebracht in de correlatiecoëfficiënt tussen de laterale posities. De waarden hiervan zijn opgenomen in bijlage XIV.

10.3 Resultaten van de laterale posities

In deze paragraaf worden de resultaten op twee manieren gepresenteerd. Allereerst worden de combinaties per locatie vergeleken en vervolgens de locaties per combinatie. Op deze wijze worden respectievelijk de invloed van de andere voertuigen en de geleiderail of barriër, en de invloed van de rijstrookbreedte verduidelijkt.

10.3.1 Vergelijking van combinaties per locatie

Locatie: A2 ter hoogte van Breukelen

Eerst worden de resultaten ten aanzien van de laterale posities per combinatie op de A2 gepresenteerd. De resultaten zijn in tabel 14 weergegeven. Omdat van beide rijbanen videobeelden zijn gemaakt, en van beide rijbanen de videobeelden ook zijn gebruikt, zijn de breedtes van de rijstroken bij combinaties 1 en 2 afwijkend van de breedtes van de rijstroken bij combinatie 3 en 4. Dit staat een vergelijk van de combinaties echter niet in de weg²¹.

Wanneer de combinaties 1 en 2 worden vergeleken, valt op, dat er een duidelijk effect van het vrachtverkeer in de rechter rijstrook is op de gemiddelde positie van de voertuigen in de middelste rijstrook. Daar waar de personenauto in de middelste rijstrook bij combinatie 1 duidelijk links van het midden rijdt (+0.24m), terwijl de personenauto in de rechter

²¹ Omdat op de westelijk rijbaan van de A2 geen in- of uitvoegstrook het verkeer kon verstoren is met het uitlezen van de videobeelden hiermee gestart. Daarbij zijn eerst de combinaties 3 en 4 bepaald. Naderhand bleek dat de combinaties 1 en 2 beduidend minder voorkwamen (tenminste niet volgens de gestelde criteria). Op de oostelijke rijbaan bleek, dat deze combinaties voldoende vaak waargenomen konden worden. Echter, op een afstand van ongeveer 150 meter eindigde een invoegstrook vanaf een verzorgingsplaats. Dit heeft overigens nauwelijks tot verstoringen geleid. (voor een beschrijving van de locatie zie bijlage VII).

rijstrook iets links van het midden rijdt (+0.08m), rijdt de personenauto in de middelste rijstrook bij combinatie 2 nog verder naar links (+0.34m), ondanks dat het vrachtverkeer iets rechts van het midden rijdt (-0.05m). De grotere afstand tussen de gemiddelde laterale posities compenseert echter niet de extra breedte van de vrachtwagen ten opzichte van de breedte van de personenauto. De gemiddelde laterale positie van de voertuigen in de linker rijstrook verandert echter nauwelijks onder invloed van deze combinaties (resp. +0.37 en +0.39m).

In de situatie dat er twee personenauto's (in de middelste en linker rijstrook) naast elkaar rijden profiteren beide voertuigen van de extra ruimte in de rechter rijstrook. De voertuigen in de middelste rijstrook rijden in deze situatie gemiddeld min of meer in het midden (+0.03m), terwijl de gemiddelde positie in deze rijstrook bij een combinatie van 3 voertuigen duidelijk links van het midden lag. De voertuigen in de linker rijstrook rijden in deze situatie minder ver naar links (+0.24m), dan in de situaties met drie voertuigen naast elkaar (+0.37 en +0.39m).

Indien er zich alleen voertuigen in de linker rijstrook bevinden, profiteren de voertuigen eveneens van de ruimte in de rechtsgelegen rijstroken. De gemiddelde positie van de voertuigen verschuift van duidelijk links in de combinaties 1, 2 en 3 naar min of meer in het midden in combinatie 4 (+0.07m). Dat de voertuigen in deze situatie nagenoeg in het midden van de rijstrook rijden, wijst erop dat afstand tot de geleiderail (0.74m vanaf binnenkant kantstreep) voldoende groot is om geen invloed op de (gemiddelde) positie uit te oefenen. De voertuigen hadden dan immers meer rechts van het midden van de rijstrook gereden in plaats van in het midden.

tabel 14. Resultaten laterale posities per rijstrook op de A2

locatie A2	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
combinatie 1	<i>rijstrookbreedte volgens de ROA</i>	3.29	3.27	3.24
	aantal waarnemingen	113	113	113
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	+0.08*	+0.24	+0.37
	standaarddeviatie	0.27	0.23	0.24
combinatie 2	<i>rijstrookbreedte volgens de ROA</i>	3.29	3.27	3.24
	aantal waarnemingen	129	129	129
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-0.05	+0.34	+0.39
	standaarddeviatie	0.18	0.19	0.23
combinatie 3	<i>rijstrookbreedte volgens de ROA</i>	3.21	3.22	3.30
	aantal waarnemingen	-	94	94
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	+0.03	+0.26
	standaarddeviatie	-	0.21	0.19
combinatie 4	<i>rijstrookbreedte volgens de ROA</i>	3.21	3.22	3.30
	aantal waarnemingen	-	-	106
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-	+0.07
	standaarddeviatie	-	-	0.25

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een - staat voor een positie rechts van het midden.

Ten aanzien van de standaarddeviatie van de laterale posities zijn geen duidelijke conclusies te trekken. Het lijkt erop dat de standaarddeviaties van de laterale posities van de voertuigen in de opgesloten (middelste) rijstrook kleiner zijn dan de standaarddeviaties in de overige rijstroken. Het verschil is echter niet in alle combinaties significant aan te tonen

(Bijlage XIII: deel b, tabel 5). Er wordt daarom slechts een vermoeden uitgesproken, dat andere voertuigen (in de naastliggende rijstroken) van invloed zijn op de positie van de voertuigen in de opgesloten rijstrook.

Daarnaast is de grootte van de standaarddeviatie van de vrachtauto's in de rechter rijstrook bij combinatie 2 opmerkelijk. Terwijl de standaarddeviatie van de laterale positie van de personenauto's in de rechter rijstrook 0.27m bedraagt, is de standaarddeviatie van de vrachtwagens maar 0.18m. Door factoren als het massa van het voertuig en breedte van het voertuig kunnen of moeten vrachtwagens nauwkeuriger koers houden dan personenauto's.

Locatie: A12 tussen de Meern en Woerden

Als tweede worden de resultaten van de A12 ten aanzien van de laterale posities per combinatie gepresenteerd. De drie rijstroken zijn hier smaller dan de rijstroken op de A2. Daarnaast varieert de breedte van rijstroken van 3.00m voor de rechter, 2.95m voor de middelste tot 2.50m voor de linker rijstrook. De belangrijkste resultaten met betrekking tot de laterale posities zijn in tabel 15 weergegeven.

tabel 15. Resultaten laterale posities per rijstrook op de A12

locatie A12	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	Linker rijstrook [m]
combinatie 5	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.00	2.95	2.50
	aantal waarnemingen	96	96	96
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	+0.04*	+0.05	0.00
	standaarddeviatie	0.22	0.17	0.13
combinatie 6	aantal waarnemingen	77	77	77
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-0.06	+0.19	+0.05
	standaarddeviatie	0.15	0.15	0.15
combinatie 7	aantal waarnemingen	-	89	89
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-0.15	-0.05
	standaarddeviatie	-	0.19	0.17
combinatie 8	aantal waarnemingen	-	-	89
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-	-0.15
	standaarddeviatie	-	-	0.19

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een – staat voor een positie rechts van het midden.

In de situatie dat drie personenauto's naast elkaar rijden, liggen de gemiddelde laterale posities van de voertuigen in de drie rijstroken min of meer in het midden (resp. +0.04, +0.05 en 0.00m). Ook op deze locatie blijkt er een duidelijk effect van het vrachtverkeer te zijn op de laterale positie van de voertuigen in de naastgelegen rijstrook. Immers, wanneer in de rechter rijstrook een vrachtwagen rijdt, is de gemiddelde positie van de vrachtwagens iets rechts van het midden (-0.06m), terwijl de gemiddelde positie van de personenauto's duidelijk links van het midden (+0.19m) ligt. De voertuigen in de linker rijstrook blijven gemiddeld min of meer in het midden van de rijstrook rijden (+0.05m).

In de situatie dat twee personenauto's (in de middelste en linker rijstrook) naast elkaar rijden, is hetzelfde effect waarneembaar als op de A2. Ook nu benutten de voertuigen de vrije ruimte in de rechter rijstrook, hetgeen blijkt uit de verschuiving van de gemiddelde laterale posities naar rechts van het midden rijstrook. De voertuigen in de middelste

rijstrook rijden in deze situatie gemiddeld duidelijk rechts van het midden (-0.15m) en de voertuigen in de linker rijstrook gemiddeld iets rechts van het midden (-0.05m).

Wanneer er alleen een voertuig in de linker rijstrook rijdt, is de gemiddelde positie duidelijk rechts van het midden (-0.15m). Zeer waarschijnlijk prefereren de meeste bestuurders door de aanwezigheid van de barriër een positie rechts van het midden van de rijstrook. De afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en de voet van de barriër bedraagt immers maar 0.25 meter.

Ten aanzien van de standaarddeviatie van de laterale posities valt het een en ander op. Zo valt in de situatie waarbij drie personenauto's naast elkaar rijden op, dat de standaarddeviatie afneemt met de rijstrookbreedte (resp. 0.22, 0.17 en 0.13m). In welke mate de breedte van de rijstrook dan wel de invloed van andere objecten aan deze afname bijdragen, is onduidelijk. Het verschil in breedte tussen bijvoorbeeld de rechter en middelste rijstrook is namelijk niet zo groot, dat dit het verschil in standaarddeviatie verklaart. Het verschil zou dan (gedeeltelijk) verklaard kunnen worden door de aanwezigheid van voertuigen in de naastliggende rijstroken.

Uit de resultaten van combinatie 6 kan worden opgemaakt, dat er een duidelijke indicatie is dat andere voertuigen van invloed zijn op de laterale positie van het voertuig in de opgesloten (middelste) rijstrook. Wanneer het inderdaad zo blijkt te zijn dat de standaarddeviatie van de laterale posities van vrachtwagens kleiner is dan van personenauto's, en dat aangenomen mag worden dat de standaarddeviatie in de linker rijstrook logischerwijs het kleinst is (de linker rijstrook is immers het smalst), zou moeten betekenen, dat de standaarddeviatie van de laterale posities van de voertuigen in de middelste rijstrook op basis van de rijstrookbreedte het grootst is. Echter, de standaarddeviaties van de posities zijn in de drie rijstroken ongeveer even groot (0.15m). Dit duidt erop, dat de aanwezigheid van voertuigen in de aangrenzende rijstroken de standaarddeviatie, en daarmee de laterale posities, van de voertuigen in de opgesloten rijstrook beïnvloedt.

Verder valt op dat de standaarddeviatie over het algemeen groter wordt, naarmate de bestuurders van de voertuigen meer (laterale) ruimte ter beschikking hebben, omdat er bijvoorbeeld geen voertuigen in de aangrenzende rijstrook rijden. Ook dit is een indicatie, dat de verschillende objecten in de nabijheid van een voertuig van invloed zijn op de laterale positie van een voertuig.

10.3.2 Vergelijk van locaties per combinatie

In deze subparagraaf worden de locaties per combinatie vergeleken. Hierbij wordt nagegaan op welke punten de combinaties van voertuigen op beide locaties overeenkomsten vertonen en waar duidelijke verschillen zitten. Daarmee wordt een indruk verkregen van het effect van de breedte van de rijstrook in combinatie met het effect van een vast object. Daarvoor worden niet alleen de posities op zich beschouwd, maar ook de eventuele correlatie tussen de laterale posities (voor de waarden van de correlatiecoëfficiënten wordt verwezen naar bijlage XIV).

drie personenauto's

De situatie waarbij drie personenauto's naast elkaar rijden, laten weinig overkomsten tussen beide locaties zien (zie tabel 16). De enige overeenkomsten zijn, dat de voertuigen in de

rechter rijstrook op beide locaties gemiddeld iets links van het midden rijden, en dat de standaarddeviatie van de laterale positie in de rechter rijstrook het grootst is. Verder is het opmerkelijk dat de gemiddelde laterale posities op de middelste en linker rijstrook op de A2 (brede rijstroken) meer van het midden afwijken dan op de A12 (resp. +0.24 en +0.37m tegen resp. 0.05 en 0.00m). Een reden hiervoor kan de afstand van respectievelijk de geleiderail en de barrier tot de zijkant van de rijbaan zijn (resp. 0.64 en 0.25m). Door de kleinere afstand tot de barrier heeft deze meer invloed op de laterale positie dan de geleiderail.

tabel 16. Kenmerken datasets laterale posities drie personenauto's

locatie	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
A2 combinatie 1	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.29	3.27	3.24
	aantal waarnemingen	113	113	113
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	+0.08*	+0.24	+0.37
	standaarddeviatie	0.27	0.23	0.24
A12 combinatie 5	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.00	2.95	2.50
	aantal waarnemingen	96	96	96
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	+0.04	+0.05	0.00
	standaarddeviatie	0.22	0.17	0.13

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een – staat voor een positie rechts van het midden.

Wanneer de correlaties tussen de laterale posities van de voertuigen worden beschouwd (bijlage XIV), kan worden opgemerkt, dat er tussen de posities van de voertuigen in aangrenzende rijstroken nog wel sprake is van enige (positieve) correlatie. Voor respectievelijk combinatie 1 en 5 zijn de correlatiecoëfficiënten voor de posities tussen een voertuig in de rechter en middelste rijstrook en tussen een voertuig in de middelste en linker rijstrook $\rho=0.30$ en $\rho=0.40$ (combinatie 1), en $\rho=0.48$ en $\rho=0.19$ (combinatie 5). Maar, tussen de posities van de voertuigen in de rechter en linker rijstrook is geen sprake van correlatie, respectievelijk $\rho=-0.03$ en $\rho=0.01$.

Er bestaat dus geen samenhang tussen de laterale posities van de drie voertuigen per waargenomen combinatie. Alleen tussen de voertuigen in aangrenzende rijstroken blijkt (enige) correlatie te bestaan.

één vrachtwagen en twee personenauto's

Wanneer de resultaten van een combinatie van één vrachtwagen en twee personenauto's op beide locaties onderling worden vergeleken, vallen een aantal resultaten op (zie tabel 17). Op beide locaties zijn de gemiddelde posities van de vrachtwagens iets rechts van het midden. De gemiddelde posities van de personenauto's in de middelste rijstrook liggen daarentegen duidelijk links van het midden. Verder is het opmerkelijk dat de gemiddelde positie van de voertuigen in de linker rijstrook op de A2 verder links van het midden ligt dan in de middelste rijstrook, terwijl op de A12 de gemiddelde positie minder ver links ligt dan op de middelste rijstrook. Dit kan worden toegeschreven aan het effect van de barrier, waardoor bestuurders niet verder naar links durven of kunnen uitwijken.

Bij het beschouwen van de correlaties tussen de posities van de voertuigen op elk van de locaties (zie bijlage XIV) blijkt er op de A2 een geringe correlatie te bestaan tussen de laterale posities van de drie voertuigen in de drie rijstroken. De correlatiecoëfficiënten

bedragen respectievelijk voor de rechter en middelste rijstrook 0.21, voor de middelste en linker rijstrook 0.34 en voor de rechter en linker rijstrook 0.29.

tabel 17. Kenmerken datasets laterale posities één vrachtauto en twee personenauto's

locatie	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
A2 combinatie 2	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.29	3.27	3.24
	aantal waarnemingen	129	129	129
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-0.05*	+0.34	+0.39
	standaarddeviatie	0.18	0.19	0.23
A12 combinatie 6	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.00	2.95	2.50
	aantal waarnemingen	77	77	77
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-0.06	+0.19	+0.05
	standaarddeviatie	0.15	0.15	0.15

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een – staat voor een positie rechts van het midden.

Op de A12 blijkt een dergelijke correlatie tussen de posities van de voertuigen in de drie rijstroken niet te bestaan. Desalniettemin, is er wel sprake van enige correlatie tussen de rechter en middelste rijstrook ($\rho=0.33$) en tussen de middelste en linker rijstrook ($\rho=0.30$). Alleen tussen de posities van de voertuigen in de rechter en linker rijstrook is geen sprake van correlatie ($\rho=-0.02$).

twee personenauto's

De beschouwde situatie, waarin twee personenauto's naast elkaar rijden, is een personenauto in zowel de middelste als linker rijstrook. Uit tabel 18 wordt duidelijk dat er geen echte overeenkomsten qua laterale positie zijn. Opvallend is echter wel, dat de gemiddelde posities van de voertuigen op de A2 nog altijd links van het midden liggen, terwijl deze op de A12 in beide rijstroken rechts van het midden liggen. Dit zou erop kunnen duiden, dat de bestuurders op de A2 over voldoende ruimte beschikken, en zich er dus niet toe genoodzaakt zien om in de rijstrook verder naar rechts te gaan rijden.

tabel 18. Kenmerken datasets laterale posities twee personenauto's

locatie	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
A2 combinatie 3	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.21	3.22	3.30
	aantal waarnemingen	94	94	94
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	+0.03*	+0.26
	standaarddeviatie	-	0.21	0.19
A12 combinatie 7	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.00	2.95	2.50
	aantal waarnemingen	89	89	89
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-0.15	-0.05
	standaarddeviatie	-	0.19	0.17

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een – staat voor een positie rechts van het midden.

Dat voertuigen voldoende ruimte hebben, blijkt ook uit het feit dat de laterale posities van de voertuigen op de A2 vrijwel niet gecorreleerd zijn ($\rho=0.05$). Tussen de posities van voertuigen op de A12 is wel sprake van enige correlatie ($\rho=0.29$). Een voertuig wordt hier,

al is het in geringe mate, wel beïnvloedt door de positie van het voertuig in de aangrenzende rijstrook.

één personenauto

De enige situatie met één personenauto, die is beschouwd, is een personenauto in de linker rijstrook. Wanneer deze combinatie voor beide locaties wordt vergeleken, blijken ook hier weinig overeenkomsten waar te nemen (zie tabel 19).

Wat de gemiddelde laterale positie betreft, ligt deze op de A2 nog net links van het midden (+0.07m), terwijl deze op de A12 duidelijk rechts van het midden ligt (-0.15m). Met name de afstand van de geleiderail of barrier tot de binnenkant van de kantstreep zal hierbij van grote invloed zijn. De geleiderail staat namelijk op 0.74 meter van de kantstreep en de barrier slechts op 0.25 meter.

Dat de standaarddeviatie van de laterale posities op de A12 kleiner is dan op de A2, zal in belangrijke mate door de smallere rijstrook worden veroorzaakt. Van een opgesloten situatie is immers geen sprake.

tabel 19. Kenmerken datasets laterale posities één personenauto

locatie	parameter	rechter rijstrook [m]	middelste rijstrook [m]	linker rijstrook [m]
A2 combinatie 4	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.27	3.22	3.30
	aantal waarnemingen	-	-	106
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-	+0.07
	standaarddeviatie	-	-	0.25
A12 combinatie 8	<i>rijstrookbreedte volgens ROA</i>	3.00	2.95	2.50
	aantal waarnemingen	-	-	89
	gemiddelde positie t.o.v. rijstrookmidden	-	-	-0.15
	standaarddeviatie	-	-	0.19

*Een + staat, kijkend in de rijrichting, voor een positie links van het midden en een - staat voor een positie rechts van het midden.

10.4 Resultaten van de laterale afstanden

In deze paragraaf worden de laterale afstanden tussen de voertuigen onderling en tussen de voertuigen en een vast object bij de verschillende combinaties beschouwd. Door de laterale afstanden tussen de objecten te beschouwen, wordt meer inzicht verkregen in de posities van de voertuigen ten opzichte van elkaar.

Voordat de laterale afstanden bepaald kunnen worden, zijn voor de betreffende voertuigen eerst de hiaten uit de (basis)gegevens bepaald. Van deze voertuigen zijn de posities binnen het hiaat bekend, zodat eenvoudig de laterale afstanden tot de voertuigen en vaste objecten langs de rijbaan bepaald kunnen worden²². In de bijlage XV zijn de verdelingen van de hiaten en de posities van de voertuigen binnen de hiaten grafisch weergegeven en in bijlage XVI zijn de verdelingen van de laterale afstanden per combinatie weergegeven.

²² Er is voor het berekenen van de laterale afstanden van een gemiddelde voertuigbreedte per type voertuig uitgegaan. Voor personenauto's is de gemiddelde voertuigbreedte 1.67 meter en voor vrachtwagens is deze 2.53 meter (Hogema en Brouwer, 1999).

drie personenauto's

Eerst worden van de A2 en de A12 de laterale afstanden in de situatie met drie personenauto's beschouwd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 20, tabel 21 en de bijlagen XV en XVI.

Wat opvalt, wanneer de resultaten van de A2 worden beschouwd, is de positionering van het voertuig in de middelste rijstrook. Gemiddeld rijdt dit voertuig ongeveer midden tussen de voertuigen in de naastliggende rijstroken. Er wordt nadrukkelijk 'gemiddeld' genoemd, omdat er tussen de laterale afstanden tot beide voertuigen in de aangrenzende rijstroken nauwelijks enige correlatie bestaat ($\rho = -0.15$ (bijlage XIV)).

Omdat de afstanden, die de bestuurders tot de andere voertuigen aanhouden, groter zijn dan de nominale laterale afstanden, rijden de voertuigen dus niet in het midden van de rijstrook. Dit bleek ook al uit de vorige paragraaf. Verder valt op dat de bestuurders over het algemeen een kleine afstand tot de geleiderail accepteren. De 85-percentielwaarde (1.29m) is zelfs nog kleiner dan de nominale waarde (1.43m). Het effect van de geleiderail op de laterale positie lijkt daarmee aanmerkelijk minder sterk dan van het overige verkeer.

tabel 20. Laterale afstanden in combinatie 1 (A2)

	laterale afstand tussen objecten (inclusief spiegels)		
	rechts- midden	midden- links	links- geleiderail
aantal observaties	113	113	113
gemiddelde	1.77	1.71	1.06
standaarddeviatie	0.30	0.26	0.24
nominaal	1.61	1.59	1.43
minimum	0.97	1.05	0.53
15-percentiel	1.48	1.50	0.80
50-percentiel	1.74	1.70	1.08
85-percentiel	2.09	1.97	1.29
maximum	2.58	2.46	1.68

tabel 21. Laterale afstanden combinatie 5 (A12)

	laterale afstand tussen objecten (inclusief spiegels)		
	rechts- midden	midden- links	links- barrier
aantal observaties	96	96	96
gemiddelde	1.32	1.00	0.67
standaarddeviatie	0.21	0.20	0.13
nominaal	1.31	1.06	0.67
minimum	0.71	0.46	0.28
15-percentiel	1.11	0.8	0.56
50-percentiel	1.33	1.01	0.67
85-percentiel	1.55	1.19	0.78
maximum	1.77	1.45	1.02

In tegenstelling tot wat op de A2 is waargenomen, zijn de gemiddelde laterale afstanden tussen de objecten op de A12 ongeveer gelijk aan de nominale afstanden. De personenauto's rijden in deze situatie dan gemiddeld ongeveer in het midden van de rijstrook. Het voertuig in de opgesloten (middelste) rijstrook rijdt daarmee niet in het midden van het hiaat, zoals op de A2 is waargenomen. Dit zou erop kunnen wijzen, dat de markering meer effect heeft op de positie(bepaling) van het voertuig dan de voertuigen in de aangrenzende rijstroken.

Wat tussen beide locaties opvalt, als naar de beide tabellen wordt gekeken, is de standaarddeviatie van laterale afstanden. Het blijkt dat de standaarddeviaties van de laterale afstanden tussen de voertuigen op de A2 aanzienlijk groter zijn dan de standaarddeviaties op de A12. Dus wanneer de rijstroken smaller worden, variëren de afstanden tussen de voertuigen minder sterk.

één vrachtwagen en twee personenauto's

Vervolgens worden de laterale afstanden tussen de objecten bij combinaties van één vrachtwagen en twee personenauto's beschouwd. In tabel 22 zijn de belangrijkste resultaten met betrekking tot de laterale afstanden in deze combinatie op de A2 weergegeven. Opmerkelijk is dat 15-percentielwaarde van de afstand tussen een vrachtwagen in de rechter en een personenauto in middelste rijstrook reeds groter is dan de nominale laterale afstand. De personenauto's blijken dus een ruime afstand te bewaren, wanneer een vrachtwagen gepasseerd wordt. De afstand is overigens over het algemeen wel kleiner dan tussen twee personenauto's in dezelfde rijstroken.

Ondanks deze 'grote' afstanden tussen de vrachtwagens en de personenauto's is het opvallend, dat de gemiddelde afstanden van het voertuig in de middelste rijstrook tot de voertuigen in beide aangrenzende rijstroken vrijwel even groot blijken te zijn (rechts-midden: 1.57m en midden-links: 1.64m). Het voertuig in de opgesloten (middelste) rijstrook rijdt in deze situatie dus gemiddeld ongeveer in het midden van het hiaat.

Wederom wordt 'gemiddeld' benadrukt, omdat tussen de afstanden een redelijke negatieve correlatie blijkt te bestaan ($\rho = -0,46$ (bijlage XIV)). Ofwel als de afstand tot het rechter object groter wordt, wordt de afstand tot het linker object kleiner. Bovendien is de variatie in de afstanden tamelijk groot, waardoor gebruik van de gemiddelde waarde een verkeerde indruk kan wekken.

Tevens is de afstand tot de geleiderail van de voertuigen in de linker rijstrook voor de meeste voertuigen beduidend kleiner dan de nominale laterale afstand.

tabel 22. Laterale afstanden in combinatie 2 (A2)

	laterale afstand tussen objecten (inclusief spiegels) [m]		
	rechts- midden	midden- links	links- geleiderail
aantal observaties	129	129	129
gemiddelde	1.57	1.64	1.03
standaarddeviatie	0.23	0.24	0.23
nominaal	1.18	1.59	1.43
minimum	0.97	1.06	0.53
15-percentiel	1.33	1.42	0.77
50-percentiel	1.55	1.61	1.03
85-percentiel	1.78	1.91	1.28
maximum	2.35	2.29	1.72

tabel 23. Laterale afstanden in combinatie 6 (A12)

	laterale afstand tussen objecten (inclusief spiegels) [m]		
	rechts- midden	midden- links	links- barrier
aantal observaties	77	77	77
gemiddelde	1.12	0.92	0.62
standaarddeviatie	0.17	0.18	0.15
nominaal	0.88	1.06	0.67
minimum	0.60	0.49	0.27
15-percentiel	0.96	0.72	0.45
50-percentiel	1.10	0.94	0.62
85-percentiel	1.31	1.10	0.79
maximum	1.49	1.34	0.94

Op de A12 wordt een ander beeld waargenomen (zie tabel 23). Wel is de laterale afstand van een voertuig in de middelste rijstrook tot een vrachtwagen in de rechter rijstrook gemiddeld aanmerkelijk groter dan de nominale laterale afstand (1.12 tegen 0.88m), maar de voertuigen in de middelste rijstrook rijden gemiddeld duidelijk niet in het midden van het hiaat (zie ook bijlage XV).

Ook valt op dat de bestuurders van een voertuig in de linker rijstrook over het algemeen een grotere afstand tot de voertuigen in de middelste rijstrook aanhouden dan tot de barrier. Ook nu blijken de standaarddeviaties van de laterale afstanden op de A2 groter te zijn dan op de A12. Dus ook bij deze combinaties van objecten variëren de afstanden op bredere rijstroken sterker dan op smallere rijstroken.

twee personenauto's

In de situatie dat zowel een personenauto in de middelste als linker rijstrook rijden, blijken de laterale afstanden tussen het voertuig in de middelste en linker rijstrook en tussen het voertuig in de linker rijstrook en de barrier op beide locaties groter te zijn dan in de voorgaande beschreven combinaties (zie tabel 24 en tabel 25). Voor de afstanden op de A2 geldt zelfs, dat de 15-percentielwaarde van de laterale afstanden tussen het voertuig in de middelste rijstrook en het voertuig in de linker rijstrook (1.56m) bijna gelijk is aan de nominale laterale afstand (1.59m). De bestuurders benutten daarmee de ruimte die in de rechter rijstrook vrij is.

Voor de positie van het voertuig in de linker rijstrook binnen het hiaat geldt hetzelfde als voor de reeds behandelde combinaties. De afstand tussen het voertuig in de middelste en linker rijstrook is groter dan de afstand tussen het voertuig in de linker rijstrook en de barrier. Daarmee lijkt een voertuig in de aangrenzende rijstrook meer invloed op de laterale positie te hebben dan de barrier.

tabel 24. Laterale afstanden in combinatie 3

	laterale afstand tussen objecten [m]	
	midden-links	links-geleiderail
aantal observaties	94	94
gemiddelde	1.82	1.32
standaarddeviatie	0.28	0.19
nominaal	1.59	1.58
minimum	1.10	0.80
15-percentiel	1.56	1.12
50-percentiel	1.82	1.30
85-percentiel	2.09	1.53
maximum	2.45	1.70

tabel 25. laterale afstanden in combinatie 7

	laterale afstand tussen objecten [m]	
	midden-links	links-barrier
aantal observaties	89	89
gemiddelde	1.15	0.72
standaarddeviatie	0.22	0.17
nominaal	1.06	0.67
minimum	0.61	0.38
15-percentiel	0.95	0.55
50-percentiel	1.13	0.71
85-percentiel	1.35	0.88
maximum	1.87	1.31

één personenauto

Deze situatie is alleen beschouwd met een voertuig in de linker rijstrook. Zoals verwacht mag worden, is de gemiddelde laterale afstand tot de geleiderail of barrier bij deze combinatie het grootst van alle combinaties (zie tabel 26 en tabel 27). De voertuigen profiteren van de extra ruimte aan de rechter zijde van het voertuig. Het feit dat de gemiddelde laterale afstand tot de geleiderail op de A2 (1.51m) kleiner is dan de nominale laterale afstand (1.58m), geeft aan dat de afstand voldoende groot is of weinig effect heeft op de laterale positie. De gemiddelde afstand tot de barrier op de A2 (0.82m) is wel groter dan de nominale laterale afstand (0.67m). Van (de afstand tot) de barrier kan dus wel gesteld worden, dat deze van invloed is op de laterale positie van de voertuigen.

tabel 26. Laterale afstanden in combinatie 4

	laterale afstanden tussen vtg links en geleiderail
aantal observaties	106
gemiddelde	1.51
standaarddeviatie	0.25
nominaal	1.58
minimum	0.83
15-percentiel	1.27
50-percentiel	1.51
85-percentiel	1.77
maximum	2.20

tabel 27. Laterale afstanden in combinatie 8

	laterale afstanden tussen vtg links en geleiderail
aantal	89
gemiddelde	0.82
standaarddeviatie	0.19
nominaal	0.67
minimum	0.42
15-percentiel	0.59
50-percentiel	0.79
85-percentiel	0.97
maximum	1.41

10.5 Snelheden van de voertuigen

De snelheid is een van de factoren, die de laterale afstand tussen voertuigen en tussen een voertuig en een vast object beïnvloedt (Gunay, 1999). De snelheid is daarbij weer afhankelijk van de intensiteit. En een van de eisen was, dat intensiteit voldoende hoog moest zijn (circa 90% van de capaciteit) bij een min of meer constante snelheid groter dan 50km/u. Deze situatie doet zich over het algemeen niet vaak voor. Bij de gewenste intensiteit varieert de snelheid namelijk sterk.

Het is niet gelukt de snelheden van de voertuigen te koppelen aan de waarnemingen. Voor een schatting van de snelheden per rijstrook is daarom representatief beeldmateriaal geselecteerd. Hiervan zijn vervolgens de gemiddelde snelheden per voertuigtype en per rijstrook bepaald.

Snelheden A2 ter hoogte van Breukelen

Over de snelheden van de voertuigen op de A2 kan het volgende worden vermeld. Er zijn twee intensiteiten te onderscheiden: ca. 4500vtg/u (westbaan) en ca. 5500vtg/u (oostbaan). De snelheden op de rechter rijstrook van zowel de vrachtwagens als de personenauto's gaven weinig verschillen te zien. Verder zijn eveneens combinaties waargenomen, waarbij voertuigen op de rechter of middelste rijstrook de andere voertuigen, behorende tot die combinatie, passeerden. De resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

tabel 28. Snelheden van voertuigen op de A2

		rechter rijstrook	middelste rijstrook	linker rijstrook
westbaan (q=4500vtg/u):	gemiddelde snelheid [km/u]	81	89	96
	standaarddeviatie [km/u]	9.7	8.8	8.4
oostbaan (q=5500vtg/u):	gemiddelde snelheid [km/u]	64	68	72
	standaarddeviatie [km/u]	9.7	10.1	12.0

snelheden A12 tussen deMeern en Woerden

Wat de snelheden op de A12 betreft, kan het kort worden gehouden. Uit de beelden kan worden opgemaakt dat de intensiteit niet al te hoog is, waardoor de voertuigen zonder congestie het wegvak konden passeren. De snelheidslimiet op het wegvak bedroeg 90km/u. De snelheid van vrachtwagens lag rond de wettelijke snelheidslimiet. De personenauto's op

de rechter rijstrook reden veelal met een snelheid onder de geldende snelheidslimiet op het wegvak (80-90km/u). De voertuigen op de middelste rijstrook reden met een snelheid tussen de 90 en 100km/u. Op de linker rijstrook werd het hardst gereden met snelheden tussen de 100 en 110km/u.

10.6 Algemene bevindingen

In deze paragraaf zullen algemene bevindingen met betrekking tot de laterale posities van de voertuigen, de laterale afstanden tussen de objecten en het effect van een vast object op de dwarsposities worden samengevat. Duidelijke conclusies zijn op basis van deze resultaten nog niet te trekken. Er zal dan eerst nog een analyse van de posities van en de afstanden tussen de voertuigen op de A27 moeten plaatsvinden. Deze resultaten vormen op dit moment een ontbrekende schakel in de reeks om het effect van de rijstrookbreedte en een vast object te kunnen beschrijven.

laterale posities

De verdelingen van de laterale posities van de voertuigen per rijstrook per type voertuig blijken Normaal te zijn. Dit volgde uit de analyse van de gegevens, waarbij met een betrouwbaarheid van 95% is nagegaan, of er sprake is van een Normale verdeling van de gegevens.

Uit de resultaten blijkt verder, dat bij een combinatie van drie voertuigen de voertuigen (zowel een personenauto's als een vrachtwagens) in de rechter rijstrook gemiddeld min of meer in het midden van de rijstrook rijden²³, ongeacht de breedte van de rijstroken.

Voertuigen in de middelste rijstrook rijden dan het meest in de linker helft van de rijstrook (bij het passeren van vrachtwagens zelfs verder naar links dan bij het passeren van een personenauto's). Op de A2 rijden de voertuigen in de linker rijstrook eveneens het meest links van het midden van de rijstrook, terwijl de voertuigen op de A12 het meest in het midden rijden. Dit laatste is in dit geval voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het effect van de dicht op de rijbaan gesitueerde barriër.

Uit de laterale posities van de voertuigen blijkt verder, dat vrachtwagens in de rechter rijstrook een duidelijk effect op de laterale posities van de personenauto's in de middelste rijstrook hebben. Op beide locaties blijkt de afstand tussen de gemiddelde posities van de vrachtwagens in de rechter rijstrook en de personenauto's in de middelste rijstrook groter dan de afstand tussen de gemiddelde posities van de personenauto's in de rechter rijstrook en de personenauto's in de middelste rijstrook.

Wanneer er zich in de naastliggende rechter rijstrook geen voertuigen bevinden, is er een duidelijk verschuiving van de gemiddelde laterale positie in de rijstrook naar rechts waarneembaar. De bestuurders van de voertuigen benutten daarmee de vrije ruimte in de rechter aangrenzende rijstrook om in een meer comfortabele positie te rijden.

Hoewel, op basis van de (kleinere) standaarddeviaties van de voertuigen in de opgesloten rijstroken, het vermoeden bestaat, dat voertuigen in de beide aangrenzende rijstroken van invloed zijn op de laterale posities van de voertuigen in de opgesloten rijstrook, wordt dit ontkracht door het feit dat er nauwelijks sprake is van enige correlatie tussen alle drie de voertuigen in de combinaties. Tussen de voertuigen in aangrenzende rijstroken bestaat nog

²³ Wat de posities op de A2 betreft kan dit sterk beïnvloed zijn door het viaduct waar vanaf de beelden zijn genomen. Zowel de vlucht- als redresseerstrook namen in breedte af. Dit en het effect van het viaduct kunnen van invloed zijn geweest op de laterale positie van de passerende voertuigen.

wel enige correlatie, maar tussen voertuigen in de rechter en linker rijstrook blijkt over het algemeen nauwelijks enige correlatie te bestaan.

laterale afstand

Wanneer de rijstroken voldoende breed zijn, zoals op de A2, blijken bij combinaties van drie voertuigen de laterale afstanden tussen de voertuigen groter te zijn dan de nominale laterale afstanden. Daarbij is de positionering van de voertuigen in de middelste rijstrook *gemiddeld* ongeveer te midden van beide voertuigen in de aangrenzende rijstroken, ongeacht het type voertuig (personenauto of vrachtwagen). Er wordt met nadruk van gemiddeld gesproken, omdat er nauwelijks sprake blijkt te zijn van enige correlaties tussen de laterale afstanden tot beide andere voertuigen. De afstand tot het rechter voertuig kan net zo goed even groot, groter of kleiner zijn dan de afstand tot het linker voertuig. Bij smallere rijstroken, zoals op de A12, geldt echter, dat de laterale afstanden afwisselend kleiner, gelijk of groter dan de nominale laterale afstanden zijn.

Verder blijkt de laterale afstand van een personenauto in de middelste rijstrook tot een vrachtwagen in de rechter rijstrook kleiner te zijn dan tot een personenauto in de rechter rijstrook. Dit lijkt logisch in verband met de breedte van een vrachtwagen, maar is eigenlijk in tegenspraak met de verwachting, dat de afstand tot een vrachtwagen groter is dan tot een personenauto.

Uit de laterale afstanden blijkt verder, dat de geleiderail en de barrier duidelijk minder effect op de laterale positie van het voertuig hebben dan andere voertuigen in de naastliggende rijstrook. Dit blijkt met name uit het feit, dat de afstand tot zowel de geleiderail als de barrier kleiner is dan tot andere voertuigen.

effect van de afstand tot een vast object

Bij het effect van een vast object gaat het niet zozeer om het effect van de geleiderail of de barrier, als wel om het effect van de afstand tot de kant van de rijbaan van het object. Indien de beide locaties, bij combinaties van drie voertuigen, onderling vergeleken worden, valt op dat de voertuigen in de linker rijstrook op de A12 minder ver naar links uitwijken dan de voertuigen in linker rijstrook op de A2. Naast het feit dat de rijstrook aanzienlijk breder is, is ook de afstand tot de geleiderail (0.64m) aanmerkelijk groter dan tot de barrier (0.25m). Daarmee zal de afstand tot de geleiderail of barrier dus mede effect op de laterale posities van de voertuigen in de linker rijstrook hebben. In welke mate de breedte van de rijstrook bijdraagt, kan niet gezegd worden.

Dat er een effect van de afstand tot geleiderail of de barrier is, blijkt ook uit de verschuiving van de gemiddelde laterale positie van de geleiderail en de barrier af, wanneer er in de rechtsgelegen rijstroken ruimte beschikbaar is. Overigens ligt de gemiddelde positie van de voertuigen op de A2 nog steeds links van het midden, terwijl de gemiddelde positie op de A12 rechts van het midden ligt. De geleiderail lijkt daarmee op de A2 voldoende ver van de rijbaan af te staan.

Verder blijkt het effect van een geleiderail of een barrier op de laterale positie kleiner te zijn dan van een voertuig in de naastgelegen rijstrook. Algemeen blijkt dit uit de kleinere laterale afstanden tot de geleiderail of de barrier dan tot een voertuig in de aangrenzende rijstrook.

11. Conclusies en aanbevelingen

In deze scriptie is nagegaan, welke gegevens voor een adequate beschrijving van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen noodzakelijk zijn en welke daarvan nog ontbreken. Aan de hand van de ontbrekende gegevens is geïnventariseerd met welke instrumenten deze gegevens verzameld kunnen worden. Er is hierbij voor een tweetal instrumenten gekozen. Voor beide instrumenten is vervolgens een methode beschreven, waarin de instrumenten gebruikt worden om de ontbrekende gegevens te verzamelen.

11.1 Conclusies

Een video-observatie en een rijsimulator blijken de meest geschikte instrumenten te zijn om de ontbrekende gegevens, waarmee de verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen adequaat beschreven kunnen worden, te verzamelen.

- Met de video-observatie kunnen ontbrekende gegevens verkregen worden over de laterale posities binnen de rijstrook per type voertuig, de invloed van de afstand tussen een vast object en de rijbaan op de laterale posities, de invloed van andere voertuigen in de naastliggende rijstroken op de laterale posities, en de snelheden per type voertuig per rijstrook. Een belangrijk voordeel van video-observatie is dat de bestuurders *nauwelijks* door het uitvoeren van de meting beïnvloed worden.
- Met een rijsimulator kunnen gegevens bepaald worden over het kritisch hiaat, de minimale laterale afstand tussen de verschillende typen voertuigen, de positionering en het snelheidsverloop van het geobserveerde voertuig ten opzichte van de gepasseerde voertuigen gedurende een inhaalmanoeuvre en de verandering van de vetergang onder invloed van de rijstrookbreedte en andere objecten.

Na het uitvoeren *van een deel* van het onderzoek met de video-observatie kan op basis van de resultaten van de A2 en de A12 voorlopig het volgende geconcludeerd worden:

- De verdelingen van de laterale posities van de voertuigen per combinatie per rijstrook en per type voertuig mag Normaal worden verondersteld. In geen van de gevallen wordt het significantieniveau 5% overschreden.
- Bij een combinatie van drie voertuigen op een breed profiel (A2) ligt de gemiddelde positie van de voertuigen (kijkend in de rijrichting) in de rechter rijstrook ongeveer in het midden van de rijstrook (zowel personenauto's als vrachtwagens) in de middelste rijstrook duidelijk links van het midden (alleen personenauto's) en in de linker rijstrook eveneens duidelijk links van het midden (alleen personenauto's).
- Bij een combinatie van drie voertuigen op een smal profiel met een barrier ligt de gemiddelde positie in de rechter rijstrook ongeveer in het midden van de rijstrook, (zowel personenauto's als vrachtwagens) in de middelste rijstrook links van het midden (alleen personenauto's) en in de linker rijstrook ongeveer in het midden (alleen personenauto's).
- Vrachtwagens in de rechter rijstrook hebben een duidelijk effect op de laterale posities van de personenauto's in de middelste rijstrook. Op beide locaties blijkt de afstand tussen de gemiddelde posities van de vrachtwagens in de rechter rijstrook en de

personenauto's in de middelste rijstrook groter dan de afstand tussen de gemiddelde posities van de personenauto's in de rechter rijstrook en de personenauto's in de middelste rijstrook.

- Bij een combinatie van drie voertuigen zijn de posities van de voertuigen in de drie rijstroken nauwelijks gecorreleerd. Tussen twee voertuigen in aangrenzende rijstroken bestaat wel enige (positieve) correlatie, maar tussen voertuigen in de rechter en linker rijstrook bestaat een dergelijke correlatie niet.
- De invloed van de afstand tussen een vast object en de rijbaan op de laterale positie van een voertuig in de linker rijstrook is kleiner dan de invloed van een voertuig in de naastliggende rijstrook. De laterale afstand tot een vast object is immers in vrijwel alle waarnemingen kleiner dan tot een voertuig.

11.2 Aanbevelingen

Om onderscheid te kunnen maken tussen het effect van de rijstrookbreedte en het effect van een vast object op de laterale posities van de voertuigen per combinatie per rijstrook en per voertuigtype, is het wenselijk gegevens over de laterale posities van de voertuigen op de A27 (plusstrook) te verzamelen. Deze reeks gegevens vormt een belangrijke ontbrekende schakel tussen de gegevens van de A2, waar de rijstroken breed zijn en de geleiderail op een redelijke afstand staat, en de A12, waar de rijstroken smal zijn en de rijbaan bovendien wordt afgeschermd door een barrière. Wanneer ook de gegevens van de A27 beschikbaar zijn, waar de rijstroken smal zijn en de geleiderail op een redelijke afstand staat, kan afzonderlijk voor de rijstrookbreedte en (de afstand tot) een vast object aangegeven worden, wat het effect is van beide factoren.

Door het uitvoeren van een deel van het onderzoek met een rijsimulator, worden belangrijke gegevens verkregen, waarmee verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken beschreven kunnen worden. Hierbij moet dan onder andere gedacht worden aan de hiaatacceptatie van de bestuurders en aan het verschijnsel 'locking' (het elkaar niet meer kunnen of durven passeren).

Door bestuurders in de rijsimulator met verschillende rijstrookbreedtes te confronteren, wordt tevens inzicht verkregen in de wijze waarop deze aspecten van het rij- en inhaalgedrag wordt aangepast aan de breedte van de rijstroken.

Na het uitvoeren van de metingen met de video-observatie kan worden aanbevolen de locatie waar vanaf de beelden genomen worden zorgvuldig gekozen moet worden. Dit geldt dan met name voor de plaatsing van de camera. Na uitvoering van de meting wordt aanbevolen vanaf een portaal te filmen. Een viaduct blijkt op het laterale rijgedrag van bestuurders toch een zeker effect te hebben (alsof ze een tunnel in rijden).

12. Evaluatie

Tot slot van dit rapport een terugblik op de verkregen resultaten. In dit hoofdstuk wordt ten eerste aangegeven in hoeverre het doel is bereikt. Vervolgens wordt aangegeven welke informatie uit de resultaten verkregen is en wat de waarde van de resultaten is. Verder wordt aangegeven over welke parameters nog gegevens verzameld moeten worden en op welke wijze dit het beste kan geschieden. Tenslotte worden een aantal projecten genoemd waarvoor de resultaten (uit het gehele onderzoek) van betekenis kunnen zijn.

Terugkoppeling naar het doel

De doelstelling in de dit rapport luidt: Vaststellen welke gegevens noodzakelijk zijn, opdat het rij- en inhaalgedrag adequaat beschreven kan worden, en welke gegevens daarvan ontbreken. En, vaststellen op welke wijze de ontbrekende gegevens van de verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag verzameld kunnen worden.

Een analyse van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken (hoofdstuk 3, 4 en 5) leidde ertoe dat het eerste deel van het doel bereikt werd. Het bleek dat over een aanzienlijk aantal gegevens nog vrij weinig informatie beschikbaar is (zie hoofdstuk 6).

Dit noodzaakte ertoe te inventariseren op welke wijze de ontbrekende gegevens dan verkregen kunnen worden. Een tweetal instrumenten blijken hiervoor het meest geschikt: de video-observatie en een interactieve rijsimulator. Volgens een bepaalde methode, beschreven in hoofdstuk 8 en 9, kunnen met behulp van beide instrumenten de ontbrekende gegevens voor het realistisch beschrijven van het rij- en inhaalgedrag verkregen worden. Hierbij worden met de video-observatie gegevens verzameld met betrekking tot de posities van de voertuigen binnen de rijstrook en ten opzichte van elkaar, en met de rijsimulator gegevens met betrekking tot de inhaalmanoeuvre in detail. Met het beschrijven van de meetmethodes is ook het tweede deel van het doel bereikt.

Terugkoppeling video-observatie

In dit rapport is naast het beschrijven van een meetopzet om de noodzakelijke en ontbrekende gegevens te verkrijgen, ook een (beperkt) deel van het beschreven onderzoek uitgevoerd. Hiertoe zijn op een tweetal locaties video-observaties verricht. De resultaten hiervan zijn in hoofdstuk 10 behandeld.

Voor harde uitspraken blijkt het echter nog te vroeg. Ten eerste omdat de beide locaties in een aantal opzichten te veel verschillen. Twee belangrijke factoren, de rijstrookbreedte en (de afstand tot) het vast object, variëren namelijk tegelijkertijd. Hierdoor is de afzonderlijke invloed van beide factoren in kwantitatieve nauwelijks te onderscheiden. Een video-observatie op (in ieder geval) de A27 moet meer duidelijkheid in beide factoren afzonderlijk verschaffen. Tevens kunnen video-observaties op andere locaties (met bijvoorbeeld 4 of meer rijstroken) waardevolle informatie opleveren.

Ook heeft de locatie op de A2 mogelijk invloed op de resultaten gehad. De gebruikte beelden zijn hier vanaf een viaduct genomen. Dit viaduct heeft, gezien de resultaten, waarschijnlijk invloed gehad op de waargenomen posities van de voertuigen. Door een visueel vernauwend effect door het viaduct rijden de bestuurders in een laterale positie meer naar het midden van de rijbaan. Dit liet zich met name in de rechter rijstrook vertaald zien in een gemiddelde laterale positie ongeveer in het midden van de rijstrook, daar waar

op basis van aanwijzingen uit de literatuur een positie rechts van het midden verwacht werd. Bij nieuwe video-observaties kan dan beter vanaf een portaal worden gefilmd (dit heeft overigens de voorkeur, wanneer gedurende meerdere dagen of zelfs weken opnamen gemaakt worden).

Ook de locatie op de A12 kan de laterale posities van de voertuigen beïnvloeden. Op deze locatie ontbreekt namelijk de vluchtstrook, waardoor de rijbaan direct aan de berm grenst. Hierdoor zullen de bestuurders naar verwachting verder van de rechter kantstreep af rijden dan in een vergelijkbare situatie *met* vluchtstrook. Ook hier reden de voertuigen gemiddeld in het midden. Met vluchtstrook zal naar verwachting meer rechts van midden gereden worden. Dit is overigens een situatie nauwelijks is te vermijden, omdat smalle rijstroken immers hoofdzakelijk worden toegepast bij werk-in-uitvoering.

In hoofdstuk 6 is zoals gezegd een lijst van gegevens opgenomen waarover meer informatie noodzakelijk is. Na uitvoering van een deel van de video-observatie kan voorlopig alleen gezegd worden, dat enige informatie is verkregen omtrent de dwarsposities van voertuigen binnen hun rijstrook onder invloed van andere voertuigen en vaste objecten langs de rijbaan (hoofdstuk 6: punt 1, 2 en 3). Vast staat wel dat omtrent deze aspecten nog een aanzienlijke hoeveelheid gegevens verzameld moet worden, alvorens de invloed van de rijstrookbreedte en de invloed van andere objecten kwantitatief te kunnen beschrijven. Het gaat dan om beschrijvingen zoals de verandering van de gemiddelde laterale positie en standaarddeviatie per type voertuig per rijstrook in relatie tot de breedte van de rijstroken, de invloed van de afstand tussen een vast object en de rijbaan op de laterale positie van voertuigen in relatie tot de rijstrookbreedte, of het bestaan of toenemen van correlatie tussen de laterale posities van de voertuigen bij afnemende rijstrookbreedte.

Over aspecten als kritisch hiaat, het positie- en snelheidsverloop en minimum geaccepteerde laterale afstand kan nog niets gezegd worden (hoofdstuk 6: punt 4 t/m 7). Metingen met een rijsimulator moeten hieromtrent meer informatie verschaffen.

Terugkoppeling naar MIXIC

Uit de verrichte video-observaties is enige informatie verkregen omtrent de dwarsposities van de voertuigen en de invloed van (de afstand tot) een vast object. Dit is niet de enige informatie die noodzakelijk is voor het beschrijven van het rij- en inhaalgedrag op versmalde rijstroken van autosnelwegen. In de specificaties van MIXIC 1.3DCS is een lijst opgenomen van de parameters die bij de modellering van het rij- en inhaalgedrag in het bestuurdersmodel ervan zijn gebruikt. Hierin staat ook vermeld waar de tot dusver gebruikte waarden op gebaseerd zijn. In deze lijst zal nu ook worden aangegeven over welke parameters informatie is verkregen en anders hoe deze informatie verkregen kan worden.

tabel 29. Informatie over gebruikte parameters MIXIC 1.3DCS

parameter	omschrijving	veronderstelt in MIXIC 1.3DCS	bron	
Rb_max	maximum margin	1.78m	de Vos	
rb_min	minimum margin	0.28m	de Vos	
rf_min	reduction factor	0.89	de Vos	zie punt 1
K	disobedience factor	0.6	Hogema	zie punt 2
d_lock	constant following distance	5m	best guess	zie punt 3
fixed_proportion		0.1	best guess	zie punt 4
max_extra_width		0.2m	best guess	zie punt 4
min_seperation		0.25m	best guess	zie punt 4
switch		0/1	best guess	zie punt 4
Sensitivity_to_lateral_closeness_factor		1.0	best guess	zie punt 5
adjacent_vehicle_proportion		0.5	best guess	zie punt 6
min_lateral_gap			nieuw	zie punt 7
influence range		40m	best guess	zie punt 8
sd_const1	sdlp at margin 0	0.022	Tenkink	zie punt 9
sd_const2	extra sdlp per extra margin	0.026	Tenkink	zie punt 9

1. Metingen op de openbare weg kunnen een andere reductiefactor opleveren. Deze waarde is gevonden uit experimenteel onderzoek met een rijsimulator. Mogelijk is de reductiefactor kleiner dan 0.89.
2. In evaluatiestudies naar het rijgedrag op de A27 (plusstrook) wordt hier aandacht aan besteed. Nagegaan wordt of de op dit moment gehanteerde snelheidslimiet van 70km/u niet te laag is.
3. Volgt uit resultaten experiment met de rijsimulator. Uit het longitudinale positieverloop tussen voertuigen kan deze parameter bepaald worden.
4. Volgen uit resultaten experiment met de rijsimulator. In welke mate de verschillende factoren, zoals afmetingen en gewicht, bijdragen volgt uit een grondige analyse van de resultaten. Voor de parameter 'min_seperation' wordt voorlopig aanbevolen de minimale afstand tot een vast object aanhouden.
5. Volgt uit de resultaten met de rijsimulator. Het uitzetten van het snelheidsverschil tussen beide voertuigen tegen de laterale afstand tussen beide objecten laat zien of er een toename, afname of geen verschil is.
6. Uit het experiment met de rijsimulator moet blijken of deze parameter van belang is.
7. Naar aanleiding van het beslisschema, gepresenteerd in hoofdstuk 5, wordt aan het gebruik van deze waarde de voorkeur gegeven, indien 2 objecten tegelijkertijd gepasseerd worden. De waarde volgt uit de resultaten met de rijsimulator.
8. Meeste informatie zal verkregen worden uit een enquête (evaluatiestudie) met bestuurders op de A27 (plusstrook). Een vrachtauto op een afstand groter dan 40 meter kan ook invloed hebben.
9. De resultaten uit de video-observatie geven nog onvoldoende informatie voor het vaststellen van de exacte waarden van de constanten. De constanten zullen aanmerkelijk

groter zijn (ca. 0.15 en 0.075). Meer resultaten van video-observaties wordt wenselijk geacht. Verder moet gelden $\text{marge} = \text{netto rijstrookbreedte}$.

Verder zijn er nog een aantal processen die naar aanleiding van het beslisschema behandeld worden. Uit de resultaten uit de rijsimulator volgt in welke positie een voertuig andere objecten passeert. De vraag daarbij is hoe de bestuurder zijn voertuig deze positie kiest. Zijn de typen objecten van invloed? Is er verschil tussen een object links van het voertuig en een object rechts van het voertuig?

Een proces dat met het bovenstaande proces sterk verweven is, is de mate van snelheidsaanpassing aan de beschikbare laterale ruimte tussen twee voorliggende objecten. Door de nauwkeurige registratie van de gegevens met de rijsimulator is ook dit proces naderhand met de rijsimulator te bepalen.

Verder kan nog worden meegegeven dat de evaluatiestudies van de plusstrook op de A27 nauwlettend gevolgd moeten worden. In verschillende studies zal aandacht worden besteed aan aspecten als de rijtaakbelasting op versmalde rijstroken met behulp van een geïnstrumenteerd voertuig, het rijgedrag op versmalde rijstroken in termen van laterale posities, volgtijden e.d. en (subjectieve) veiligheid door middel van een enquête.

Betekenis voor andere projecten

Wanneer de beschreven onderzoeksopzet wordt uitgevoerd, wordt gedetailleerde informatie van het verschillende aspecten van het rij- en inhaalgedrag op smallere rijstroken dan de gebruikelijk 3.50 meter brede rijstroken verkregen. Met de verkregen gegevens is het dan mogelijk een realistische modellering van het rij- en inhaalgedrag te maken. Dit kan dan vervolgens weer toegepast worden in microscopische simulatieprogramma's, zoals bijvoorbeeld MIXIC, waarmee ex-ante geëvalueerd kan worden, wat de effecten zijn op de verkeersafwikkeling en -veiligheid op autosnelwegen met versmalde rijstroken.

Naast het nagaan wat deze effecten betekenen voor een maatregel zoals de dynamische rijbaanindeling, kan ook nagegaan worden of toepassing van permanent smallere rijstroken mogelijk is. De resultaten van het onderzoek kunnen daarmee ook gebruikt worden voor het opstellen van de nieuwe richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen.

Verder in de toekomst kijkend, kunnen sommige resultaten meegenomen worden bij plannen voor Automatische Voertuiggeleiding (AVG). Wanneer AVG toepassing vindt zijn smallere rijstroken mogelijk. Immers, door een lane-keeping-systeem zal het voertuig geen vetergang meer hebben, waardoor de breedte van de rijstroken kan worden beperkt. De vraag is dan hoe smal de rijstroken mogen zijn? En, wat is de afstand tussen twee elkaar passerende voertuigen die een bestuurder nog acceptabel vindt, als zijn voertuig (deels) zelfstandig over de weg rijdt? Is dat zijkant tegen zijkant, of moet tussen beide voertuigen nog minstens een halve meter ruimte aanwezig zijn, wanneer de voertuigen elkaar passeren? Wat een bestuurder nog accepteert, kan onder andere volgen uit de kleinste geaccepteerde afstand tot een naastliggend object of uit het kritisch hiaat, eventueel nog in combinatie met een bepaalde passeersnelheid.

Literatuurlijst

- Botma, H. (1997). *Collegedictaat Verkeersafwikkeling, deel a: Verkeersstroomtheorie*. Delft: Sectie Verkeerskunde, Technische Universiteit Delft.
- Brackstone, M., M. McDonald en B. Sultan (1999). *Dynamic behavioural data collection using an instrumented vehicle*. Southampton: Transportation Research Group, University of Southampton.
- Brackstone, M., et al. (1999). *Five Years of the instrumented vehicle: What have we learned*. tec, pag 537-540.
- Claassens, A., en B. Pouwels (1998). *Visuele informatie als stuurcomponent voor gewenst rijgedrag*. Nijmegen: Instituut voor Toegepaste Sociale Wetenschappen, Stichting Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Cohen, S. (1998). *Effect of narrow lanes on the capacity of motorways: a trial in the Paris region*. Third International Symposium on Highway Capacity, pag. 337-349.
- CROW (1990). *Meetmethoden (ten behoeve van verkeerstechnisch ontwerp)* (publicatie 40). Ede: Stichting CROW.
- Curren, J.E. (1995). *Use of shoulders and narrow lanes to increase freeway capacity* (NCHRP report 369). Washington DC: US Transportation Research Board.
- DHV Milieu en Infrastructuur BV (1994). *Effecten afwijkingen richtlijnwaarden ROA*. Amersfoort: Sector Logistiek en Verkeer.
- Goudappel en Coffeng (1998). *Voertuigkarakteristieken van het Nederlandse autopark*. Deventer.
- Groeneboom, P., et al. (1995). *Kansrekening en Statistiek voor Civiele Techniek (a16)*. Delft: Faculteit der Technische Wiskunde en Informatica, Technische Universiteit Delft.
- Gunay, B. (1999). *Investigation of Low Lane Discipline on Uninterrupted Multilane Traffic Flows* (PhD Thesis). Newcastle upon Tyne (UK): Civil Engineering Department, University of Newcastle.
- Gunay, B. (1999). *Modelling lane discipline on multilane uninterrupted traffic flow*. Traffic Engineering + Control, pag. 440-447.
- Hoedemaeker, M. (1999). *Driving with Intelligent Vehicles*. Delft: TRAIL Research School.

- Hogema, J.H., en C. Tampère (1999). *Functional specifications for microscopic traffic modelling of dynamic cross sections*. Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Hogema, J.H., en R.F.T. Brouwer (1999). *Inschatting van gedragseffecten van dynamisch rijbaanindelingen* (TM-99-C008). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Horst, A.R.A. van der, en P.J. Bakker (1993). *Koershoudgedrag bij geprofileerde wegmarkeringen: Video-observaties in de nul-situatie op de A50* (IZF 1993 C-35). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Janssen, W.H., en R.F.T. Brouwer (1998). *Advies spitsstrook A2 Vinkeveen* (TM-98-C075). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Jessurum, M., et al. (1990). *Beleving, waarneming en activatie tijdens het rijden over een deel van de A2* (VK 90-18). Haren: Verkeerskundig studiecentrum, Rijksuniversiteit Groningen.
- Minderhoud, M.M. (1999). *Supported Driving: Impacts on Motorway Traffic Flow*. Delft: TRAIL Research School.
- Rijkswaterstaat: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (1993). *Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Dwarsprofielen*. Rotterdam.
- Rijkswaterstaat: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (1999). *Infrastructurele ontwikkelingen 1999*. Rotterdam.
- Rijkswaterstaat: Dienst Verkeerskunde (1986). *Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen*. 's-Gravenhage.
- Rijkswaterstaat: Dienst Verkeerskunde (1992). *Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Basiscriteria*. Rotterdam.
- Soma, H., K. Suzuki, K. Hiramatsu en T. Ito (1999). *Experimental Investigation of Dynamical Lateral Vehicle Position on Japanese Expressways for Design and Standardisation of Lane Departure Warning Systems*. Toronto: 6th World Congress ITS
- SWOV (1996). *Risico's onderscheiden naar wegtypen: Risico's op autosnelwegen; Deelrapportage in het 'kencijfer-project' uit het Onderzoeksjaarplan 1995*. Leidschendam.
- Tampère, C. (1999). *Dynamisch Dwarsprofiel: een verkenning van de verkeersafwikkeling op smalle stroken* (Inro/VK1999-03). Delft: TNO Inro.

- Transportation Research Board (1994). *Highway Capacity Manual, special report 209, third edition updated*. Washington DC: US Transportation Research Board.
- Urbanik, T. (1994). *Factors affecting selection of lane width and shoulder width on urban freeways* (TRR 1445). Washington DC: US Transportation Research Board.
- Vos, A.P. de, W. Hoekstra en M.T.J. Pieterse (1998). *Automatic vehicle guidance (AVG): Effects of lane width and physical separation on driver comfort* (TM-98-D003). Soesterberg: TNO TechnischeMenskunde.
- Waard, D. de, L.H.K. van der Linden en E.J. Westra (1990). *Observaties van het rijgedrag in een geïnstrumenteerde auto op de A28 tussen Assen en Groningen* (VK 90-16). Haren: Verkeerskundig studiecentrum, Rijksuniversiteit Groningen.

Lijst van symbolen

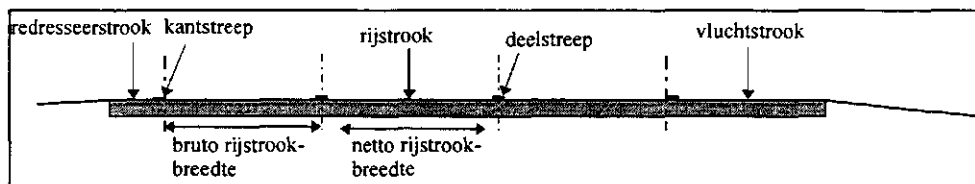
a_{ref}	(uiteindelijke) versnelling van een voertuig (m/s^2)
a_{ref_lock}	versnelling indien een voorliggend voertuig niet gepasseerd kan worden (m/s^2)
$a_{ref_normaal}$	kleinste versnelling afgewogen tussen a_{ref_vrij} en a_{ref_volgen} (m/s^2)
a_{ref_pass}	versnelling wanneer een ander voertuig gepasseerd wordt (m/s^2)
a_{ref_volgen}	versnelling om een voorliggend voertuig te volgen (m/s^2)
a_{ref_vrij}	versnelling van een voertuig tot de wensnelheid bij vrij rijden (m/s^2)
b	breedte van de rijstrook (m)
b_0	standaardbreedte van een rijstrook (3.50m)
d	nauwkeurigheid (m of cm)
$d_{lat,i}$	actuele laterale positie voertuig i (m)
$d_{lat,ij}$	actuele laterale afstand tussen voertuig i en j (m)
$d_{lat,jk,min}$	minimum geaccepteerde laterale ruimte (m); kritisch hiaat (m)
$d_{lat,nom}$	nominale laterale afstand tussen twee voertuigen (m)
f_i	waargenomen frequentie
F_i	theoretische frequentie
FC	Frictional Clearance, laterale afstand tussen twee voertuigen (m)
$g_{1,i}$	grootste verworpen hiaat van bestuurder i (m)
$g_{2,i}$	kleinste geaccepteerde hiaat van bestuurder i (m)
h	klassebreedte (cm)
H_0	nulhypothese
H_a	alternatieve hypothese
i	passerende voertuig; voertuig-, bestuurdersnummer
IQR	Inter Quartile Range (K_3-K_1)
j	object dat zich rechts van voertuig i bevindt
k	object dat zich links van voertuig i bevindt
K	constante die de mate van naleving van de snelheidslimiet weergeeft
K_1	waarde eerste kwartiel
K_{lat}	factor die de invloed van lateraal nabije voertuigen weergeeft
m	aantal geschatte parameters
marge	restbreedte (m)
n_i	omvang van steekproef i
$r(x,y)$	geschatte correlatiecoëfficiënt op basis van twee steekproeven
rb	restbreedte (m)
RF	reductiefactor die het effect van de rijstrook- en de voertuigbreedte weergeeft
s	invloedsafstand van voorligger (m)
$s_{af rond}$	af rondingsfout (cm)
s_i	standaarddeviatie steekproef i (m)
s_{ij}	actuele longitudinale afstand van voertuig i tot voertuig j (m)
sd_{lanc}	standaarddeviatie van de laterale positie (m)

sd_1	constante (0.022m)
sd_2	constante (0.026)
v_i	snelheid van een voertuig i (km/u of m/s)
v_L	geldende snelheidslimiet (km/u)
v_{ref}	wenssnelheid onder normale condities (km/u)
v_s	snelheid aangepast aan de snelheidslimiet en de rijstrookbreedte (km/u)
v_0	snelheid aangepast aan de rijstrookbreedte (km/u)
w_i	voertuigbreedte van voertuig i, exclusief spiegels (m)
x	minimale volgafstand tot voorligger in aangrenzende rijstrook (m)
\bar{x}_n	rekenkundig gemiddelde van een steekproef met n waarnemingen
$z_{(1-\frac{1}{2}\alpha)}$	percentielwaarde van een standaard Normale verdeling
α	significantieniveau (%)
	gevoeligheidsfactor
β_j	objectafstandvrees tot object j (m)
γ_j	minimale laterale afstand tot object j (m)
μ	gemiddelde van een dataset (m)
ν_i	aantal vrijheidsgraden in steekproef i
θ	parametervector van een verdelingsfunctie F
ρ	correlatiecoëfficiënt
σ	standaarddeviatie van een dataset (m of cm)

Begrippenlijst

<i>absolute validiteit</i>	Gemeten gegevens met een rijsimulator komen numeriek 'exact' overeen met gemeten gegevens in de werkelijk.
<i>bruto rijstrookbreedte deelstreep</i>	De feitelijke breedte van een rijstrook (inclusief halve breedte van de deelstreep). Lengtemarkering die de rijstroken voor het verkeer in dezelfde richting scheidt (ROA).
<i>discomfort</i>	De extra inspanning die een bestuurder moet leveren ten opzichte van de normale situatie om bepaalde manoeuvres uit te kunnen voeren.
<i>hiaat</i>	De laterale ruimte die tussen twee voorliggende objecten beschikbaar is, gemeten vanaf de zijkanten van de voertuigen (niet tussen de spiegels).
<i>inhalen kantstreep</i>	Een voortrijdend voertuig voorbijgaan, passeren (Van Dale). Lengtemarkering die de rijbaan scheidt in een deel bestemd voor het rijdende verkeer en een deel niet bestemd voor het voor het rijdende verkeer, en is uitgevoerd als een doorgetrokken streep (ROA).
<i>koers</i>	De gemiddelde positie waarmee een voertuig onder normale omstandigheden over de weg rijdt.
<i>kritisch hiaat</i>	De kleinste laterale ruimte tussen twee objecten die een bestuurder nog accepteert.
<i>laterale afstand</i>	De actuele afstand tussen twee voertuigen in aangrenzende rijstroken of tussen een voertuig en een vast object, gemeten vanaf de zijkant van het voertuig.
<i>marge mock-up</i>	Rijstrookbreedte minus de voertuigbreedte. Geïmproviseerd model van een auto, waarin de proefpersoon van een experiment met een rijsimulator plaats neemt.
<i>netto rijstrookbreedte</i>	De rijstrookbreedte die een weggebruiker op een zeker moment netto ter beschikking heeft, doordat bepaalde delen van de bruto rijstrookbreedte door de weggebruiker subjectief onberijdbaar worden geacht, vanwege de nabijheid van vaste en/of bewegende elementen.
<i>nominale laterale</i>	De afstand tussen twee voertuigen op <i>afstand</i> aangrenzende rijstroken of tussen een voertuig en een vast object, indien de voertuigen in het midden van de rijstrook rijden.
<i>normaal object</i>	De lijn loodrecht op het wegdek. Een voertuig (al dan niet rijdend), een barriër of geleiderail.
<i>objectafstandvrees</i>	De afstand die weggebruikers in acht nemen ten opzichte van vaste elementen langs de rijbaan en de zich op de weg bevindende al dan niet rijdende voertuigen (ROA).
<i>obstakelafstand</i>	Kortste afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en een obstakel (ROA).
<i>passeren</i>	Voorbijgaan (Van Dale).
<i>redresseerstrook</i>	Verharde strook van beperkte breedte, gelegen naast de rijbaan, bedoeld om weggebruikers de gelegenheid te geven hun koers te corrigeren (ROA).

<i>relatieve validiteit</i>	Gemeten gegevens met een rijsimulator komen in een (vaste) verhouding overeen met gemeten gegevens in de werkelijkheid.
<i>restbreedte</i>	Zie marge.
<i>rijstrook</i>	Begrensd gedeelte van de rijbaan dat voldoende breed is voor een rij van het voor dat gedeelte bestemde verkeer (ROA). De breedte van de rijstrook wordt gemeten inclusief de halve breedte van de deelstreep en exclusief de kantstreep.
<i>vetergang</i>	Van de rechte lijn afwijkende koers van een voertuig als gevolg van storende krachten zoals wind en koerscorrecties (ROA).



figuur 28. Gegevens dwarsprofiel (ROA, 1993)

<i>vluchstrook</i>	Verharde strook langs de rijbaan van een autosnelweg waarop uitsluitend in bijzondere gevallen of in geval van nood mag worden gereden of gestopt (ROA).
<i>voertuigbreedte</i>	De breedte van een voertuig, exclusief spiegels.
<i>voorganger</i>	Een voertuig dat zich in dezelfde rijstrook als het beschouwde voertuig bevindt.
<i>voorligger</i>	Een voertuig dat zowel in dezelfde of de aangrenzende rijstrook direct voor het beschouwde voertuig rijdt.
<i>wegvak</i>	Gedeelte van een weg, dat wordt begrensd door twee doorsneden.
<i>wenssnelheid</i>	De snelheid waarmee een bestuurder wenst te rijden bij een gegeven rijstrookbreedte onder normale condities.

