

# **Naar een nieuwe rijstrook- indeling op de Zeelandbrug - wetenschappelijk verslag**

*Frank J.J.M. Steyvers & Peter C. van Wolffelaar*

december 1998

COV 98-06

Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie

Faculteit PPSW  
Rijksuniversiteit Groningen  
Grote Kruisstraat 2/1  
9712 TS Groningen  
tel (050) 3636758  
fax (050) 3636784  
e-mail [COV.INFO@PPSW.RUG.NL](mailto:COV.INFO@PPSW.RUG.NL)  
www [HTTP://WWW.PPSW.RUG.NL/COV/INDEX.HTM](http://WWW.PPSW.RUG.NL/COV/INDEX.HTM)

© 1998 Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie, Rijksuniversiteit Groningen

*Uit deze uitgave mag niets worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze ook, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.*

ISBN 90-6807-348-6

Trefwoorden: verkeersveiligheid; rijstrookindeling; video-analyse; rijsimulator

# Voorwoord

---

De Provincie Zeeland heeft het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie opdracht gegeven onderzoek te doen naar de effecten van alternatieve rijstrook-indelingen op de Zeelandbrug op het rijgedrag, teneinde een keuze te kunnen maken bij een grote renovatie. Dit rapport brengt over dit onderzoek verslag uit. De auteurs danken allen die op één of andere manier hebben bijgedragen aan de goede voltooiing van het onderzoek en de totstandkoming van het rapport. Allereerst de opdrachtgever, in de persoon van de heren Blommaert en Ten Broeke van de Provincie Zeeland, voor de opdracht en het hieruit blijkende vertrouwen. Voorts diverse medewerkers van de Provincie Zeeland, met name zij die op de brug behulpzaam waren met allereerste activiteiten, zoals het wisselen van de video-tapes, het AudioVisuele Centrum van de RUG voor de ondersteuning en de faciliteiten voor het video-onderzoek, en Alex Tersmette voor de video-analyse. Verder dank aan alle die bij de simulatorstudie hebben geholpen; voor het aanbrengen of leveren van proefpersonen met name te noemen; Provincie Zeeland, ZWN, de transportbedrijven Van de Wekken, Bosman & Zn., Gebr. Hendrikse, Zwaar Transport Zeeland, Wielemaker BV, alle in Zeeland, en Gado Reisnet, Arriva, dhr J. Staal van de Vervoersdienst RUG, en Van Gend & Loos, Groningen. Voorts dank aan collegae Peter Lourens en Dick de Waard voor assistentie, en last but not least aan de 60 proefpersonen voor hun bereidwillige inzet.



# Inhoudsopgave

---

Samenvatting .....	7
Summary .....	9
1 Introductie.....	11
1 De Zeelandbrug - vaste oeververbinding sinds 1965.....	11
2 Deelrapportage Video-observatie .....	15
2.1 Inleiding .....	15
2.2 Methode.....	15
2.3 Resultaten - Inhalen.....	21
2.4 Resultaten - Laterale positie .....	22
2.5 Resultaten - Overzicht .....	35
2.6 Discussie.....	38
3 Deelrapportage snelheidsmetingen .....	41
3.1 Inleiding .....	41
3.2 Relevante aspecten en resultaten .....	41
3.3 Conclusie.....	43
4 Deelrapportage simulator-onderzoek.....	45
4.1 Inleiding .....	45
4.2 Methode.....	45
4.3 Resultaten - Meninge.....	50
4.4 Resultaten - Rijparameters.....	55
4.5 Resultaten - Overzicht .....	63
4.6 Discussie.....	67
5 Integratie, conclusies en aanbevelingen .....	73
Literatuur .....	75
Bijlagen.....	77
Bijlage 1: .....	79
Bijlage 2. ....	80
Bijlage 3. ....	81
Bijlage 4. ....	82



# Samenvatting

---

In 1999 wordt de Zeelandbrug uitgebreid gerenoveerd. Om aan hogere veiligheidseisen te voldoen wordt overwogen de huidige leuning te vervangen door een barrier, die echter een andere rijstrookindeling noodzakelijk maakt. Dit kan echter leiden tot ander rijgedrag. De Provincie Zeeland heeft het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie opdracht gegeven de consequenties voor het rijgedrag te onderzoeken, waarvoor twee afzonderlijke onderzoeken zijn uitgevoerd, een video-analyse en een rijsimulatoronderzoek.

De video-analyse betrof het maken van opnamen van de brug in de oorspronkelijke situatie, en met drie alternatieve belijningsvarianten die vooruitlopen op de rijstrookbreedte van één mogelijke toekomstige situatie tussen de nieuwe barriers. Het verschil met de oorspronkelijke situatie was: 1) een smallere rijstrook per rijrichting; 2) een grotere afstand tot de geleiderail (vanrail); 3) een (enkele of dubbele) doorgetrokken streep op de wegas, waarmee impliciet een inhaalverbod ontstond. In alle gevallen was er een expliciete snelheidslimiet van 80 km/uur, op diverse plaatsen op de brug aangegeven met borden. Gevonden werd dat de drie nieuwe belijningsvarianten allemaal leidden tot 70-90% reductie van het aantal inhaalmanoeuvres en een reductie in de gereden snelheid. Verder bleek de gekozen positie op de weg bij de nieuwe varianten ten opzichte van de oorspronkelijke situatie gemiddeld iets meer naar het midden te zijn, maar het slingergedrag werd wat minder (de standaarddeviatie laterale positie, ofwel SDLP, was kleiner). Dit gold speciaal voor vrachtwagens en bussen. Met tegenliggers namen bestuurders meer afstand tot de middenas. In geval van sterke zijwind bleken bussen en vrachtwagens dichter op de middenas te rijden in de drie proefsituaties dan in de oorspronkelijke situatie, ongeacht de rijrichting. Toch ziet het ernaar uit dat de alternatieve rijstrookindelingen de koers duidelijker markeren; samen met de forse reductie van het inhalen en de reductie van de rijnsnelheid betekent dat een verbetering van het rijgedrag. Evidentie om te kiezen voor één der drie alternatieven is niet gevonden; er zijn positieve aanwijzingen voor alternatief 1 (met een enkele, extra brede doorgetrokken middenasbelijning, vanwege het inhalen) maar ook voor alternatief 3 (met een dubbele doorgetrokken middenas-belijning, vanwege de verdeling van de laterale positie).

In de rijsimulator werd vervolgens de Zeelandbrug gemodelleerd: naast de bestaande situatie werden er drie alternatieven ingevoerd, die onderling verschilden wat betreft rijstrookbreedte en -indeling op de beschikbare verhardingsbreedte tussen de barriers. In alle gevallen werd de aanwezigheid van een dichte betonnen barrier gevisualiseerd, die een duidelijk contrast vormt met de huidige open leuning. De invloed van bekendheid met de brug werd onderzocht door twee groepen proefpersonen te selecteren, Zeeuwen die de brug kennen, en Groningers, die de brug niet (goed) kennen. Verder werd de invloed van voertuigtype onderzocht door camerastandpunten te nemen die overeen kwamen met die van een personenauto, van een bus en van een vrachtwagen. Er werd voor gezorgd dat bij de camerastandpunten van vrachtwagen en bus respectievelijk vrachtwagenchauffeurs en buschauffeurs als proefpersoon deelnamen, tien per elke regiogroep. Dit leverde 60 proefpersonen op. Naast belijningsalternatief en voertuigtype werd een aantal snelheidslimieten gepresenteerd (60, 80, 100 km/uur of geen limiet), om het effect hiervan op de rijmogelijkheden per alternatief vast te kunnen stellen. Ook werd er geen, een vaste of een variabele zijwind gepresenteerd. Als maten voor het rijgedrag werden snelheid,

laterale positie en stuuruitslagen gemeten, en als maten voor ervaren inspanning een score op een beoordelingsschaal (de BSMI). Daarnaast konden proefpersonen hun mening geven over het onderzoek en de gepresenteerde alternatieven. Gevonden werd dat proefpersonen met name de belijning in de alternatieven prettig en duidelijk ervaren. De barriers vinden ze noch prettig noch onprettig. Qua inspanning vonden zij de meest wijde variant het minst inspannend. De snelheidslimiet bepaalde hoe snel de proefpersonen daadwerkelijk reden; personenautobestuurders reden hierbij sneller dan buschauffeurs en vrachtwagenchauffeurs, en dan vooral als de limiet hoger ligt. Groningers reden wat sneller dan Zeeuwen, en dan ook vooral bij hogere limieten. De laterale positie vertoonde een aantal belangrijke effecten van de diverse manipulaties. Personenauto's reden verder weg van de as dan vrachtwagens en bussen. Ook blijkt op de varianten met meer ruimte tussen de barriers dat er verder van de weg werd gereden dan op de nauwere brugvarianten, en dat effect was bij zijwind groter. Met zijwind reed men verder van de weg dan zonder zijwind, en dan vooral voor personenauto's. De spreiding van de laterale positie en van de stuurhoek bleken bij de oorspronkelijke brug het grootst te zijn voor personenauto's, en op de wijdeste variant het grootst voor vrachtwagens en bussen; voor alle voertuigtypen was de spreiding op de nauwste brugvariant het kleinst. Door zijwind werd de spreiding groter, en dan extra voor personenauto's, en wat minder voor de andere voertuigen. Bij een lage limiet was de spreiding kleiner dan bij een hoge limiet, maar dan vooral voor condities met zijwind.

Op basis van al deze gegevens werd geconcludeerd dat, als verkeersveiligheid het enige criterium is voor de keuze van een alternatief in het simulatoronderzoek, het alternatief met de meeste breedte tussen de barriers het gunstigst zal uitpakken (alternatief 2). Met name het smalste alternatief (alternatief 3) levert volgens dit onderzoek een duidelijke verslechtering ten opzichte van de huidige oude situatie.

# Summary

---

## **Towards a new lane division on the Zeelandbridge - scientific report**

In the year 1999 the Zeelandbridge will be extensively renovated. To meet the up-to-date safety standards it has to be decided whether to replace present side rail by a barrier, the placement of which will necessitate another lane division. This may cause different driving behaviour. The Province of Zeeland requested the Centre for Environmental and Traffic Psychology to investigate the consequences on driving behaviour, which was done in two separate studies, a video analysis and an experiment in the COV driving simulator.

The video analysis consisted of recording video tapes of the bridge in the original situation and of three different new delineation alternatives, that anticipate the lane widths of one possible future situation with the new barriers. The difference with the original situation was: 1) a narrower lane per driving direction; 2) a larger distance to the side rail; 3) a (single or double) continuous line as road axis delineation, implicitly prohibiting overtaking. In all cases there was an explicit speed limit of 80 km/h, repeatedly indicated by a sign. It was found that the three new delineation alternatives reduced the proportion of overtaking manoeuvres with about 70-90%. Also there was a reduction in driving speed. Furthermore it was found that chosen lateral position on the new alternatives was more to the middle of the road compared with the original situation, but swerving was less (lower standard deviation lateral position, SDLP). This was especially the case with lorries and busses. With oncoming traffic drivers took more distance to the road axis. In case of strong side wind bursts it appeared that busses and lorries kept a closer course to the road axis, regardless of driving direction. In spite of this, it appears that the new delineation alternatives make it possible to direct the driving course more strictly; together with the marked reduction of overtaking manoeuvres and the decrease in driving speed this is an improvement of the driving behaviour. There is no evidence for a decisional choice between one of the three alternatives; there are positive indications for alternative 1 (having a single, extra wide continuous axis line, because of the overtaking manoeuvres) but also for alternative 3 (having a double continuous axis line, because of the distribution of the lateral position).

The Zeelandbridge was modelled in the driving simulator; the original situation and three designed alternatives were visualised; these alternatives differed on lane width and lane division on the available pavement width between the barriers. In all alternatives the presence of an optically closed concrete barrier was visualised, that was in marked contrast with the original open side rail construction. The influence of local acquaintance was studied by taking inhabitants of the province of Zeeland as familiar, and inhabitants of the province of Groningen as unfamiliar subjects. The influence of vehicle type was assessed by changing the projection height according to a car, a bus or a lorry. It was taken care that in case of projection heights of lorries and busses lorry and bus drivers were invited as subjects respectively, ten in each regional group. This accumulated to 60 subjects. Besides delineation alternative and vehicle type there were four speed limits (60, 80, 100 km/h or no limit), to assess the effect of limit on the driving possibilities in each alternative. Also there was no, a steady and a changing side wind. Measures for driving behaviour were speed, lateral position and steering angle; measures for subjective

tive effort were scores on the RSME scale (rating scale for subjective mental effort). Subject were able to give their opinion by filling in a specific questionnaire. It was found that subject appreciated the delineation in the alternatives as pleasant and clear. They considered the barriers nor pleasant nor unpleasant. Regarding effort they appreciated the widest alternative as the least demanding. The speed limit dictated the actual driving speed; cars drivers drove faster than bus and lorry drivers, and especially with higher speed limits. Lateral position showed a number of important effects of the various manipulations. Cars were driven at a larger distance from the road axis than lorries and busses. Also it appeared that alternatives with more lateral space between the barriers resulted in a lateral position away from the road axis, compared to narrower alternatives; this effect increased with side wind. With side wind drivers took a lateral position further away from the road axis, compared to no side wind, an effect that was largest for cars. De variation in lateral position and of steering angle were largest on the original bridge for cars; on the widest new alternative they were largest for lorries and busses; for all vehicle types it appeared that variation in lateral position was smallest on the narrowest alternative. Side wind resulted in an increment of variation in lateral position, mostly for cars, somewhat less for busses and lorries. A low speed limit resulted in a lower variation in lateral position compared to high speed limit of no limit at all, but especially in conditions of side wind.

Based on these findings it was concluded that, if traffic safety was the only criterion for choosing an alternative in the simulator study, the alternative with the most space between the barriers (alternative 2) would do best in terms of driving behaviour. Especially the narrowest alternative (alternative 3), according to this study, is expected to give an impairment compared to the original situation.

# 1 Introductie

---

## 1 De Zeelandbrug - vaste oeververbinding sinds 1965

Op het moment dat in 1965 de Zeelandbrug werd geopend was het de langste vaste oeververbinding in Europa. Met 52 pijlers wordt ruim 5 km water van de Oosterschelde overspannen. De brug tussen Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland - toen nog een tolbrug - zorgde ervoor dat het verkeer uit het westen van Nederland, in combinatie met enkele dammen van het Delta-plan sneller naar Zeeland kom komen dan voorheen ooit het geval was geweest. In 1993 is de tol opgeheven, waardoor de verkeersintensiteit aanzienlijk is gegroeid. In 1997 ging het hierbij om 10249 motorvoertuigen per dag (mpd), hetgeen in de zomer opliep tot 11415 mpd. Op het fietspad kan de intensiteit variëren van 0 tot 900 fietsers per dag, met een gemiddelde van ongeveer 250.

Wat betreft de verkeersveiligheid blijkt de brug met een dergelijke intensiteit naar verhouding niet extreem gevaarlijk te zijn. In de periode van 1990 - 1995 zijn er 40 ongevallen geregistreerd, waarvan 5 met letsel en 2 met dodelijke afloop; in totaal vielen hierbij 18 slachtoffers (doden en gewonden). Er zijn duidelijk meer ongevallen in het donker en in de schemering: 35% tegen 17% gemiddeld. De verkeersongevallen bij werk-in-uitvoering, frontale botsingen, en ongevallen met vrachtauto's zijn extra vertegenwoordigd.

Een speciaal aspect van de veiligheid van de brug wordt gevormd door de infrastructurele voorzieningen. Deze hebben geen gelijke tred gehouden met de toename van verkeersaanbod, noch met de strenger wordende eisen. Na meer dan 30 jaar in gebruik te zijn is in de periode 1998-1999 een grote onderhoudsbeurt voorzien, waarbij een aantal aanpassingen zal worden uitgevoerd om de brug weer aan de eisen van de huidige tijd te laten voldoen. Tot op heden bevinden zich op de brug drie leuning, die motorvoertuigen van de (brom)fietsstrook scheiden, en al het verkeer bovenop de brug moeten houden. Een analyse van de problemen door DHV Milieu en Infrastructuur BV (juni 1997) gaf als resultaat dat de huidige brugleuningen volstrekt ontoereikend zijn om een botsende of schampende vrachtauto of bus tegen te houden. Momenteel is een krachtige aanrijding met een dergelijk zwaar voertuig voldoende om de leuning te vernielen en van de brug te geraken. Een val van de brug in de Oosterschelde is een in principe levensbedreigende situatie, gezien de hoogte van het brugdek - ongeveer 16 m boven het wateroppervlak - en de open verbinding die de Oosterschelde heeft met de zee, waardoor sterke stromingen ontstaan en het water gedurende een groot deel van het jaar erg koud is.

Hoewel in de DHV-analyse wordt gesteld dat de onveiligheid maatschappelijk aanvaardbaar is overweegt de Provincie Zeeland, die als weg- en brugbeheerder verantwoordelijk - en aansprakelijk - is, een nieuwe kering aan te brengen die mogelijk zal bestaande uit een barrier van gewapend beton. Een besluit hierover zal in 1999 worden genomen. Een mogelijkheid hierbij is het aanbrengen van een barrier aan de rand van de brug met een speciale bevestiging om zoveel mogelijk kerend vermogen te geven, maar die bij een zeer zware aanrijding wel zal kunnen afbreken om beschadiging aan de brugconstructie zelf te voorkomen. Op de brug, als afscheiding tussen de autorijstroken en de fietsstrook, zou de barrier dan los geplaatst kunnen worden.

De eisen aan dergelijke barriers brengt met zich mee dat ze ten opzichte van de leuning veel breder zijn. Dat betekent dat er voor de rijstroken (en/of de fietsstrook) op het breedteprofiel van de brug minder ruimte beschikbaar is. Dit brengt een herziening van de huidige rijstrook-indeling met zich mee.

Er zijn in eerste instantie drie alternatieve indelingen ontworpen met de volgende indelingen (van west naar oost):

**Alternatief 1:** Gebruik van de gehele breedte van de brug, dus verwijdering van de fietsstrook. De rijstrookindeling hierbij wordt: 0.55 m barrier - 1.55 m kantstrook - 0.15 m belijning - 3.10 m rijstrook - 0.15 m belijning, 0.60 m middenasruimte - 0.15 m belijning - 3.10 m rijstrook - 0.15 m belijning - 1.55 m kantstrook - 0.55 m barrier.

**Alternatief 2:** Handhaving van een smalle (voet)strook. Rijstrookindeling: 0.38 m leuning - 0.85 m voetstrook - 0.55 m barrier - 1.11 m kantstrook - 0.15 m belijning - 2.75 m rijstrook - 0.15 m belijning - 0.95 m middenasruimte - 0.15 m belijning - 2.75 m rijstrook - 0.15 m belijning - 1.11 m kantstrook - 0.55 m barrier.

**Alternatief 3:** Handhaving van een fietsstrook. Rijstrookindeling: 0.38 m leuning - 2.70 m fietsstrook - 0.55 m barrier - 0.51 m kantstrook - 0.15 m belijning - 2.75 m rijstrook - 0.15 m belijning - 0.30 m middenasruimte - 0.15 m belijning - 2.75 m rijstrook - 0.15 m belijning - 0.51 m kantstrook - 0.55 m barrier.

Ter vergelijking de **huidige situatie**: 0.38 m leuning - 2.58 m fietsstrook - 0.47 m leuning - 7.80 m rijbaan met rijstrook-indeling (0.33 m kantstrook, - 0.15 m kantbelijning - 3.42 m rijstrook - 0.15 m asbelijning - 3.67 m rijstrook - 0.15 m kantbelijning - 0.15 m kantstrook) - 0.38 m leuning.

Voor alternatief 1 betekent het dat de brug autoweg-achtig wordt, dus met een maximumsnelheid van 100 km/uur en geen bijzondere voorzieningen. Voor alternatief 3 betekent het een weg met een maximumsnelheid van 80 km/uur en noodzakelijke handhavingsmaatregelen. Om meer ruimte te krijgen met de plaatsing van de barriers op de locatie van de huidige leuningen is voor het simulator-onderzoek (zie verderop) een variant van alternatief 3 ontworpen, waarbij de barrier extra plat is gemaakt.

De onderzoeksvraag die uit bovenstaande informatie naar voren komt en door de Provincie Zeeland aan het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie is gesteld is: welke rijstrook-indeling is haalbaar, gegeven de wens een veilige berijdbare Zeelandbrug te krijgen. Deze vraag kan nader worden afgebakend: welke effecten geven bovenstaande rijstrook-indelingen op het rijgedrag in het algemeen, en op de positiekeuze op de rijstrook en het inhalen in het bijzonder. Er is bij de nieuwe rijstrook-indeling door de doorgetrokken middenstreep impliciet een inhaalverbod voorzien, maar het valt af te wachten in hoeverre men zich daaraan houdt.

De opdrachtgever wil bij het onderzoek naar de effecten graag maximaal informatie verkrijgen over de variant waarin de fietsstrook wordt gehandhaafd. Hoewel er geen grote stromen fietsers de brug gebruiken zou het afsluiten ervan een duidelijke achteruitgang betekenen in de mogelijkheden om anders dan gemotoriseerd de Oosterschelde over te steken. Daarom gaat het onderzoek vooral uit van varianten van alternatief 3 (met handhaving van de fietsstrook), waarbij de minste ruimte in het dwarsprofiel beschikbaar is om uitwijkmogelijkheden te maken, en die dus het meest kritisch is.

De aanwezigheid van zijwind vormt in Zeeland in het algemeen en op de Zeelandbrug in het bijzonder een belangrijke factor bij het goed kunnen koershouden. Zijwind kan en zal in het

onderzoek worden meegenomen. De effecten van de diverse aspecten dienen te worden nagegaan voor personenauto's, maar juist ook voor bussen en vrachtauto's. Daarnaast is het mogelijk bij de meting van positiekeuze een indruk te krijgen van de te verwachten spoorvorming.

Uit het voorafgaande zijn de volgende drie concrete onderzoeksvragen afgeleid:

1. Hoe is het rijgedrag (laterale positie en inhalen) bij drie varianten van alternatief 3 op de brug zelf vergeleken met de oude situatie, zonder verdere manipulatie van snelheid en wind, maar met een (impliciet) inhaalverbod? Hiermee wordt informatie verkregen op de locatie zelf.
2. Hoe is het rijgedrag (in diverse aspecten) bij de rijstrook-indeling van alternatief 3 als functie van zijwind en opgelegde maximumsnelheid en een (impliciet) inhaalverbod? Hierbij wordt uitgegaan van een zogenaamd worst-case scenario, met als argument dat als er zich daarbij geen problemen voordoen er in de alternatieven met meer ruimte nog minder problemen zijn te verwachten;
3. Als alternatief 3 (in twee varianten) niet voldoet, hoe is dan het rijgedrag (in diverse aspecten) bij alternatief 2?

Het idee is dat alternatief 1 (vooralsnog) niet getest hoeft te worden: er is immers geen andere mogelijkheid. Als de andere alternatieven en varianten moeten worden afgewezen zal alternatief 1 hoe dan ook moeten worden geïmplementeerd.

De drie onderzoeksvragen zullen worden benaderd met twee verschillende methoden:

1. video-observatie ter plekke, waarbij de huidige situatie wordt vergeleken met drie alternatieve vormen van belijning, die al binnen het bestaande - dus de van de oude leuningen voorziene brug - profiel worden aangebracht;
2. een experiment in de rijnsimulator met systematische manipulatie van rijstrook-indeling, snelheidslimiet (60, 80, 100 en vrij rijden) en zijwind (geen, vast en variabel), waarbij de huidige situatie van rijstrook-indeling en brugleuning wordt vergeleken met drie alternatieven, inclusief de geplande barrier-constructie: twee varianten van alternatief 3, en alternatief 2.

In het navolgende deel van dit rapport zullen beide onderzoeksmethoden afzonderlijk aan bod komen. Eerst wordt de video-observatie behandeld, methode en resultaten, met een korte discussie. De opdrachtgever heeft de resultaten van snelheidsmetingen ten tijde van de video-observaties ter beschikking gesteld, zodat die aan dit onderdeel kunnen worden toegevoegd. Vervolgens komt het simulator-onderzoek aan bod, methode, resultaten en discussie. Tot slot wordt in een concluderend hoofdstuk de resultaten van beide onderzoeken geïntegreerd en verder geïnterpreteerd, en worden zo concreet mogelijk aanbevelingen gegeven.



## 2 Deelrapportage Video-observatie

---

### 2.1 Inleiding

Op de Zeelandbrug is met behulp van video-registratie van passerend verkeer een observatie-onderzoek uitgevoerd naar de laterale-positiekeuze en het inhalen. De oude situatie is vergeleken met drie varianten van een nieuwe belijning, waarbij in alle gevallen een impliciet inhaalverbod bestond omdat de middenasbelijning doorgetrokken was.

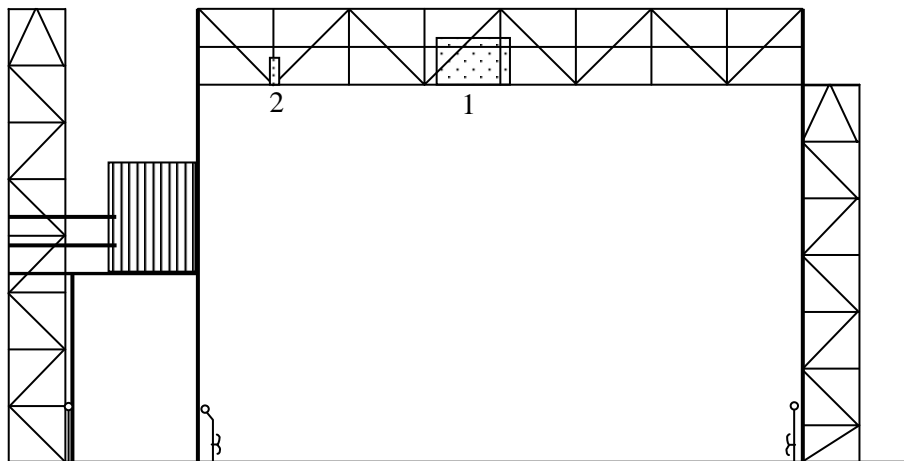
### 2.2 Methode

#### *Apparatuur*

De Zeelandbrug heeft de beschikking over een werkinstallatie waarmee boven en onder de brug werkzaamheden kunnen worden verricht. Van deze loopbrug is gebruik gemaakt om twee videocamera's te installeren met videorecorders en een monitor (zie figuur 2.1). De monitor diende slechts om het camerabeeld te controleren en te zien of de camera's en de videorecorders functioneerden. Een camera en de recorders en monitor waren gemonteerd in een waterdichte roestvrijstalen kast, die op de loopbrug was vastgemaakt. In deze kast was een kijkglasje waardoor een camera (JVC TK-C1360 digitale kleuren video camera met 1/2 inch CCD) een panoramisch beeld van het brugdek kon opnemen. De camera stond midden boven de rijstroken, zodanig gericht dat de brughorizon net boven in beeld zichtbaar was. Het oogmerk van de opnames van deze camera was het kunnen beoordelen van inhaalmanoeuvres. De camera was naar het noorden gericht, zodat er van invallende zon geen sprake kon zijn. De verticale afstand tot het wegdek bedroeg ongeveer 5 meter. De andere camera (Sanyo z/w model VCB-3312P CCD Camera) was bevestigd aan de buitenkant van een relingbuis van de loopbrug in een waterdicht camerahuis, vertikaal naar beneden gericht op de rechterkant van de er onderdoor lopende rijstrook, rijrichting noord-zuid. Met deze camera werden passerende auto's opgenomen om de laterale positie te kunnen meten. De opnames werden vastgelegd met twee (JVC SR-L900E timelaps PAL-VHS) video cassette recorders. Om de aanwezigheid van de apparatuur wat te camoufleren was de stalen kast "onderhoudsdienstgeel" gespoten, net als de buizen van de loopbrug, zodat het de druk wekte dat die daar één geheel mee vormde. De behuizing van de verticale camera viel vrijwel samen met een verticale buis; de camera viel bovendien minder op omdat hij door het onderdoor rijdende verkeer op betreffende rijstrook pas na passeren gezien kon worden in de achteruitkijkspiegel. De gehele opstelling werd met één (gele gecamoufleerde) voedingskabel van energie voorzien.

### Conditie en opnamen

Omdat er één camera-opstelling beschikbaar was moesten de opnamen in serie worden gemaakt. Eerst werd de controleconditie opgenomen. Vervolgens werd de belijning op het wegdek van de brug veranderd. De brug was hiertoe in drie stukken verdeeld van elk ca 2 km. lang, en op elk stuk werd een variant van de belijning van alternatief 3 (ruimte voor twee rijstroken en de fietsstrook op de huidige breedte) aangebracht (zie figuur 2.2). Achter elkaar werden daarna de opnamen op elk van deze varianten gemaakt. Er was een opnameschema voorzien (zie tabel 2.1) en het personeel van de Provinciale Onderhoudsdienst van de Zeelandbrug zorgde voor het wisselen van de videotapes en het verstellen van het portaal met de loopbrug en de camera-opstelling. Bij het wisselen van de tapes werd meteen in een logboek een aantekening gemaakt over datum en tijd, indicaties over het weer (temperatuur, windkracht en -richting, neerslag, bewolking en zicht, en verdere opmerkingen: zie een voorbeeld in figuur 2.3).



*Figuur 2.1: Schets van de camera-opstelling op de loopbrug bovenop het brugdek van de zeelandbrug. De loopbrug is hier getekend zoals deze gezien wordt vanaf de zuidkant, zodat aan de linkerkant het portaal is waar de fietsstrook doorheen gaat.*

*1: de roestvrijstalen kist waarin de panorama-camera, de twee video-recorders en de monitor;  
2: de behuizing van de verticale camera voor de opname van de rechterkant van de noord-zuid rijstrook.*

Tabel 2.1: Opnameschema Zeelandbrug. Het schema was niet stikt bindend, maar kon met enige soepelheid en naar eigen oordeel wegens de omstandigheden worden toegepast

---

Week 20 (11-17 mei): controlesituatie

maandag:	11 mei	11-14 uur	(middaguren)
maandag:	11 mei	15-18 uur	(avondspits)
maandag:	11 mei	18-21 uur	(avonduren)
dinsdag:	12 mei	07-10 uur	(ochtendspits)
dinsdag:	12 mei	12-15 uur	(middaguren)
dinsdag:	12 mei	16-19 uur	(avondspits)
woensdag:	13 mei	07-10 uur	(ochtendspits)
woensdag:	13 mei	15-18 uur	(avondspits)

Week 23 (of 24): 1e proefsituatie

dinsdag:	2 (of 9) juni	11-14 uur	(middaguren)
dinsdag:	2 (of 9) juni	15-18 uur	(avondspits)
dinsdag:	2 (of 9) juni	18-21 uur	(avonduren)
woensdag:	3 (of 10) juni	07-10 uur	(ochtendspits)
woensdag:	3 (of 10) juni	12-15 uur	(middaguren)
woensdag:	3 (of 10) juni	16-19 uur	(avondspits)
donderdag:	4 (of 11) juni	07-10 uur	(ochtendspits)
donderdag:	4 (of 11) juni	15-18 uur	(avondspits)

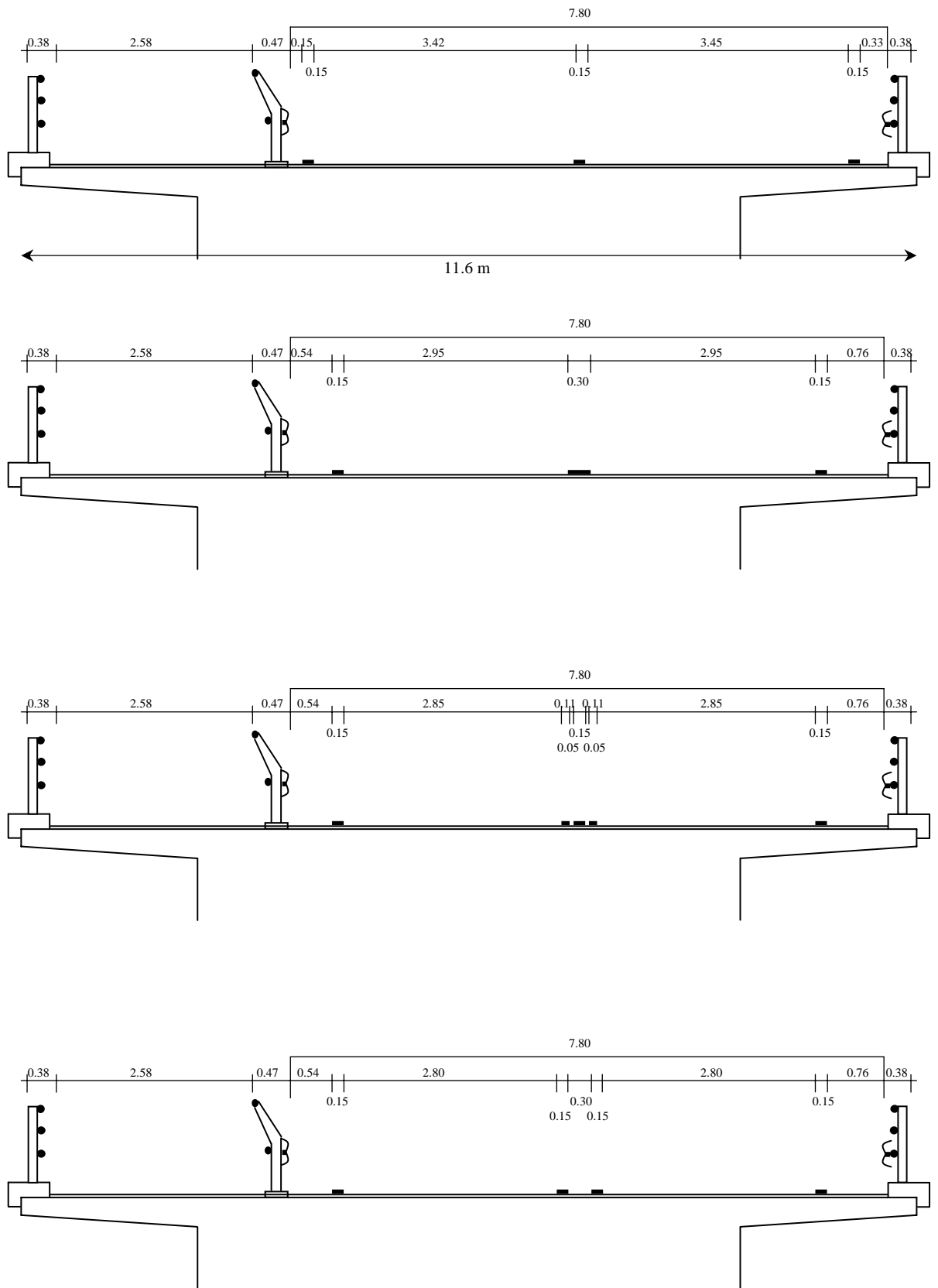
Week 26 (of 27): 2e proefsituatie

dinsdag:	23 (of 30) juni	11-14 uur	(middaguren)
dinsdag:	23 (of 30) juni	15-18 uur	(avondspits)
dinsdag:	23 (of 30) juni	18-21 uur	(avonduren)
woensdag:	24 (of 1) juni	07-10 uur	(ochtendspits)
woensdag:	24 (of 1) juni	12-15 uur	(middaguren)
woensdag:	24 (of 1) juni	16-19 uur	(avondspits)
donderdag:	25 (of 2) juli	07-10 uur	(ochtendspits)
donderdag:	25 (of 2) juli	15-18 uur	(avondspits)

Week 29 (of 30): 3e proefsituatie

dinsdag:	14 (of 21) juli	11-14 uur	(middaguren)
dinsdag:	14 (of 21) juli	15-18 uur	(avondspits)
dinsdag:	14 (of 21) juli	18-21 uur	(avonduren)
woensdag:	15 (of 22) juli	07-10 uur	(ochtendspits)
woensdag:	15 (of 22) juli	12-15 uur	(middaguren)
woensdag:	15 (of 22) juli	16-19 uur	(avondspits)
donderdag:	16 (of 23) juli	07-10 uur	(ochtendspits)
donderdag:	16 (of 23) juli	15-18 uur	(avondspits)

---



*Figuur 2.2: Schets van de vier belijningen in het video-onderzoek. Van boven naar beneden staan de oorspronkelijke brug, en de proefvakken 1, 2 en 3. De dimensies van de diverse lijnen en intervallen staan in de figuur afgebeeld. De opgegeven maten zijn de ontwerpmaten; in werkelijkheid kon er enige variatie (enkele centimeters) optreden.*

Datum:								
Starttijd:								
Weer:								
Temp.	<0	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	>30
Windk.	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11		
Windr.	N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
Neersl.	geen	dauw	motre- gen	regen	hagel	sneeuw		
Bewolk.	geen	1/3	1/2	2/3	geheel			
Zicht	<50m	50- 200m	200- 500m	500- 1000m	1000- 5000m	>5000m		
Opm								

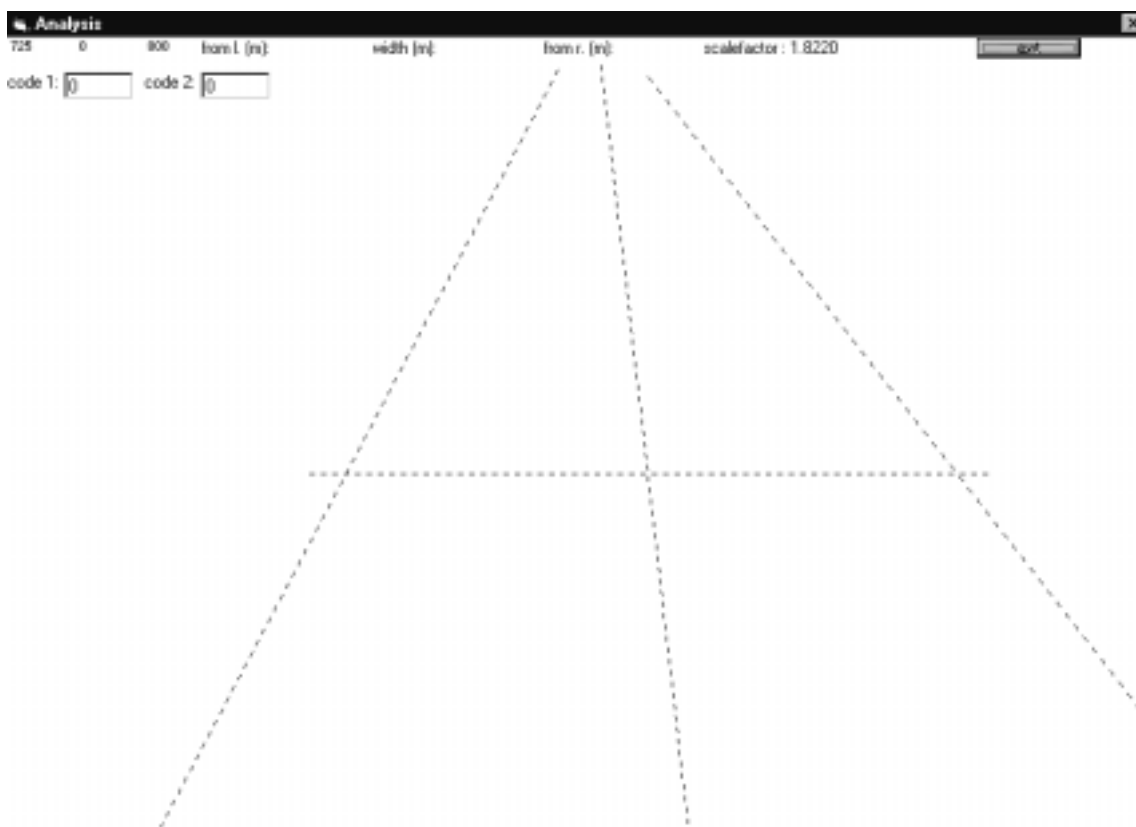
Figuur 2.3: voorbeeld van een tabel voor een video-opname uit het video-logboek.

In de periode mei - juli 1998 werden alle opnamen gemaakt. De opstelling is in die tijd niet onderwerp van vandalisme of diefstal geweest, zodat alle geplande opname-uren ook daadwerkelijk zijn vol gemaakt.

#### Analyse

Uit het bekijken van de opnamen bleek dat de panoramische beelden de meeste informatie bevatten, zowel voor het beoordelen van de inhaalmanoeuvres als voor het bepalen van de laterale positie van de voertuigen op de weg. In deze beelden kon immers de verkeerssituatie van voertuigen tijdens de meting van de laterale positie worden beoordeeld - vrij rijdend of met een tegenligger - en bovendien kon van beide rijstroken verkeer worden gemeten. Weliswaar was de meetresolutie van de panorama-camera minder dan die van de verticale camera, maar de nauwkeurigheid was voldoende om goede conclusies te trekken en de mogelijkheid om beide rijrichtingen te meten en de verkeerssituatie te kunnen vaststellen woog ruimschoots op tegen het verlies van enige meetresolutie. Voor het meten van de laterale positie werd een computerprogramma ontwikkeld in Visual Basic. Op het beeldscherm van een computer werd met een speciale video-overlaykaart (Screen machine) en een resident programma het videobeeld gezet. Het analyseprogramma maakte het mogelijk een dwarslijn te tekenen van de buitenkant van de belijning van de linkerrijstrook tot de buitenkant van de belijning van de rechterrijstrook. Omdat de afstand hiertussen bekend was, was hiermee ook de schaal in het

de afstand hiertussen bekend was, was hiermee ook de schaal in het videobeeld ter hoogte van deze dwarslijn bekend. Vervolgens werd met de enkelbeeldbediening van de analyserecorder (Panasonic Video cassette recorder AG 7330) het beeld van een passerend voertuig zodanig geplaatst dat deze met de voorwielen (linkerrijstrook) of de achterwielen (rechterrijstrook) tegen de dwarslijn stond, waarna met de muis de buitenste randen van het voertuig (niet de spiegels) werden aangeklikt. Hiermee was de positie van het voertuig op de weg bekend alsmede de breedte. Vervolgens werd met een code aangegeven welke verkeerssituatie het betrof: vrij rijdende personenauto, vrij rijdende bus of vrachtwagen, personenauto met tegenligger, vrachtwagen of bus met tegenligger, of inhaalmanoeuvre. Inhaalmanoeuvres werden zo meteen geïdentificeerd, waardoor ze in hetzelfde bestand terechtkwamen, en naderhand bij de statistische verwerking gemakkelijk konden worden geteld. Vrij rijdend werd gedefinieerd als het niet aanwezig zijn van een tegenligger binnen ca 100 m van de te meten auto. Dit kon in het beeld goed worden ingeschat met behulp van de hectometerpaaltjes op de brug. Zie een voorbeeld in figuur 2.4.

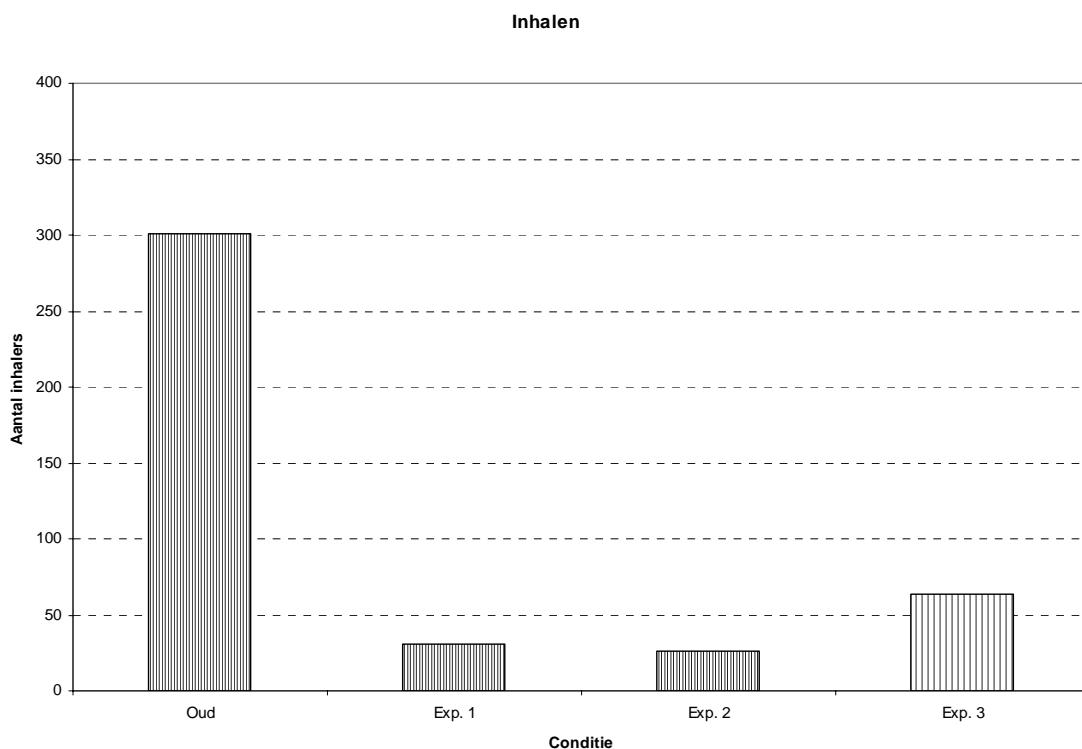


*Figuur 2.4: voorbeeld van het analyse-venster van het computerprogramma voor de verwerking van de panoramische videobeelden van de Zeelandbrug. Het videobeeld werd stil gezet zodanig dat er een voertuig met de voorwielen (westelijke rijstrook) of achterwielen (oostelijke rijstrook) voor of achter de dwarslijn stond. De afstand tussen de twee buitenste verticale convergerende lijnen was bekend (en dus de beeldschaling): deze werden langs de buitenkanten van de kantlijnen neergezet. Ook werd de wegas gemarkeerd (middelste vertikale stippellijn). Daarmee kon op de dwarslijn elke dwarspositie worden vastgesteld. Van een voertuig werden de buitencontouren gemarkeerd met de muis (niet de spiegels) waarmee de laterale positie links en rechts ten opzichte van respectievelijk asbelijning en kantlijnen berekend kon worden. Met codes werd verder de conditie en de situatie (personenauto versus bus; vrij rijden versus tegenligger; inhaalmanoeuvre) aangegeven en per voertuig in een bestand opgeslagen.*

Gegeven de enorme hoeveelheid gegevens die beschikbaar was (4 condities x 2 camera's x 24 uur registraties = 192 uur materiaal), en de beperkte analysetijd is besloten van elke videotape vooralsnog alleen het eerste uur volledig te meten, en van de rest alleen de inhaalmanoeuvres te identificeren. Dit geeft per tape een voldoende grote steekproef om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de laterale positie van voertuigen. Zie voor een onderbouwing van deze methode Van der Horst & Bakker (1994) die betogen dat 50 voertuigen per conditie met een meetresolutie van ca. 4 cm voldoende zijn voor het vaststellen van positieverschillen van ca 10 cm, uitgaande van een maximale standaarddeviatie laterale positie van maximaal ca 0.30 m. Uit de resultaten zal blijken dat in de huidige video-registraties aan deze voorwaarden ruimschoots is voldaan.

### 2.3 Resultaten - Inhalen

Het aantal inhaalmanoeuvres is geteld voor elk der vier condities - de oude en de drie experimentele belijningssituaties. Figuur 2.5 toont de aantallen. Duidelijk is dat bij de proefwegvakken het aantal inhaalmanoeuvres afneemt tot een fractie van de oude situatie. Het verschil tussen de oude situatie en de drie nieuwe is significant in een  $\chi^2$ -toets ( $\chi^2 = 481.3$ ,  $df = 3$ ,  $p < 0.001$ ). Het verschil tussen proefvak 3 (Exp. 3 in de figuur) en de proefvakken 1 en 2 (Exp. 1 en Exp. 2 in de figuur) is ook significant ( $\chi^2 = 25.9$ ,  $df = 2$ ,  $p < 0.001$ ), terwijl de proefvakken 1 en 2 (Exp. 1 en Exp. 2) onderling niet verschillen ( $\chi^2 = 0.8$ ,  $df = 1$ ,  $p > 0.1$ ). Tenslotte is het verschil tussen de oorspronkelijke situatie en proefvak 3 (Oud en Exp. 3) significant ( $\chi^2 = 139.8$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.001$ ). Het betreft bovendien zo goed als uitsluitend personenauto's.



Figuur 2.5: Aantal inhaalmanoeuvres zoals geregistreerd tijdens de video-opnamen op de Zeelandbrug. Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.

## 2.4 Resultaten - Laterale positie

### *Correcties en analyses*

Om fouten in de metingen te verwijderen werd besloten de registraties van personenauto's die smaller waren dan 1.30 m of breder dan 2.25m te negeren. Ook werden metingen verwijderd van vrachtwagens en bussen die smaller waren dan 1.75 m. Na deze selectie bleven er in totaal 18356 registraties over. In Tabel 2.2 is per conditie (oude situatie en drie experimentele situaties) dit aantal uitgesplitst voor de twee niveaus van type voertuig en type verkeerssituatie: personenauto vrij rijdend, personenauto met tegenligger, vrachtauto of bus vrij rijdend, vrachtauto of bus met tegenligger.

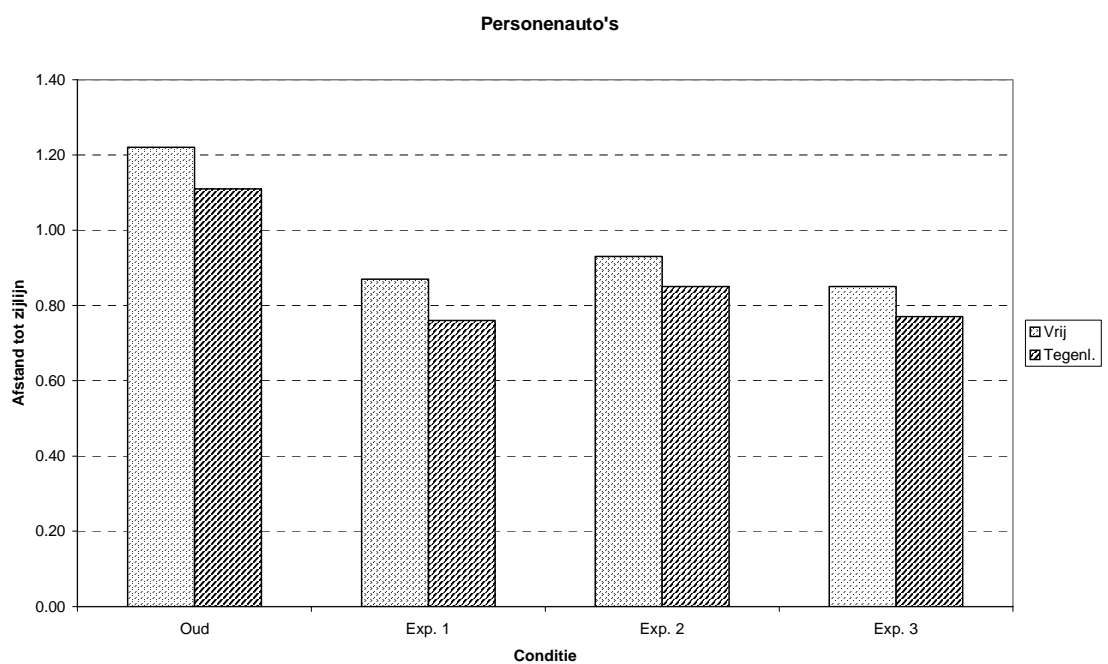
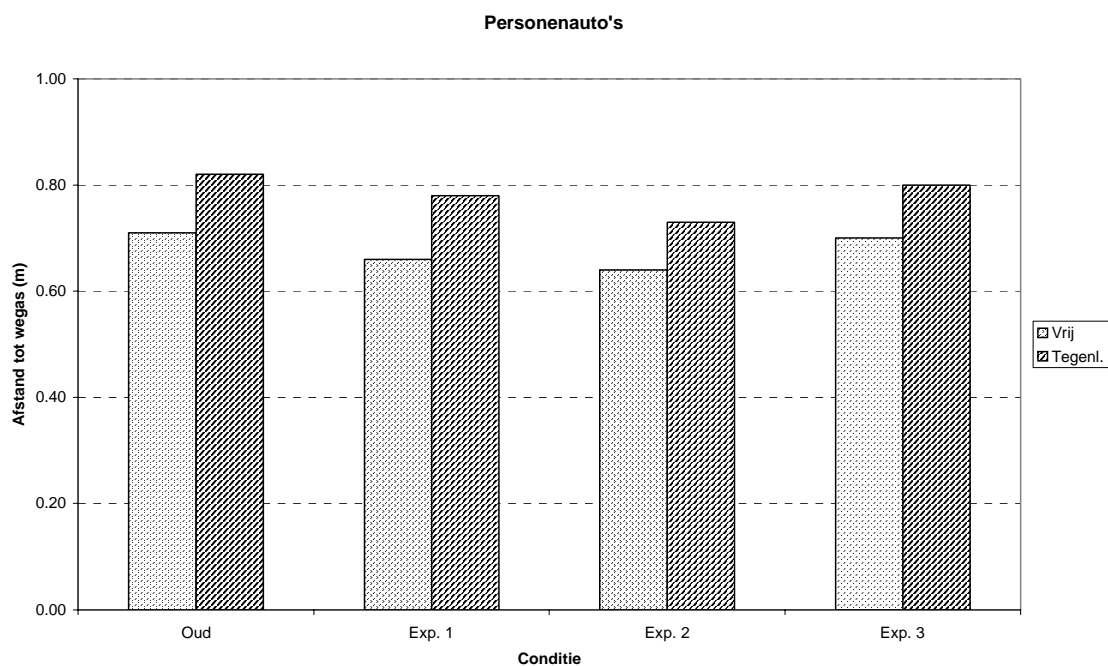
Tabel 2.2: Aantal goede observaties, uitgesplitst per conditie, per voertuigtype en per situatie.

	personenauto's		vrachtauto's en bussen	
	vrij	tegenliggers	vrij	tegenliggers
Oud	2683	1227	414	202
Exp. 1	2750	1332	342	165
Exp. 2	3012	1328	365	179
Exp. 3	2484	1293	374	206

Per cel in tabel 2 is de gemiddelde positie op de weg bepaald ten opzichte van de wegas (fysieke midden, dus niet de belijning) en ten opzichte van de buitenkant van de rechterkantlijn. Voor deze gemiddelden is verder de standaarddeviatie berekend, die een maat vormt voor de spreiding over de rijstrook. Ook is de breedte van de voertuigen bepaald. Deze breedte bepaalt voor een deel mede in hoeverre de twee posities links en recht van het voertuig op de rijstrook zich bevinden; om deze invloed weg te rekenen zal voertuigbreedte als covariaat in de multivariate variantie analyse (MANOVA) worden opgevoerd. In de MANOVA is een simpele-contrastvergelijking gemaakt; de proefbelijningen zijn met de oorspronkelijke belijning vergeleken en getoetst, niet onderling. Immers het gaat er vooral om of en in hoeverre de proefwegvakken verschillen van de oude situatie. Verder worden de analyses voor de personenauto's en voor de vrachtauto's en bussen afzonderlijk gemaakt. Zij vertegenwoordigen twee duidelijk afzonderlijke typen voertuig, en zijn elk op zich te beschouwen. Een gedetailleerde analyse voor zijwind zal worden uitgevoerd door een nadere dataselectie.

### *Personenauto's*

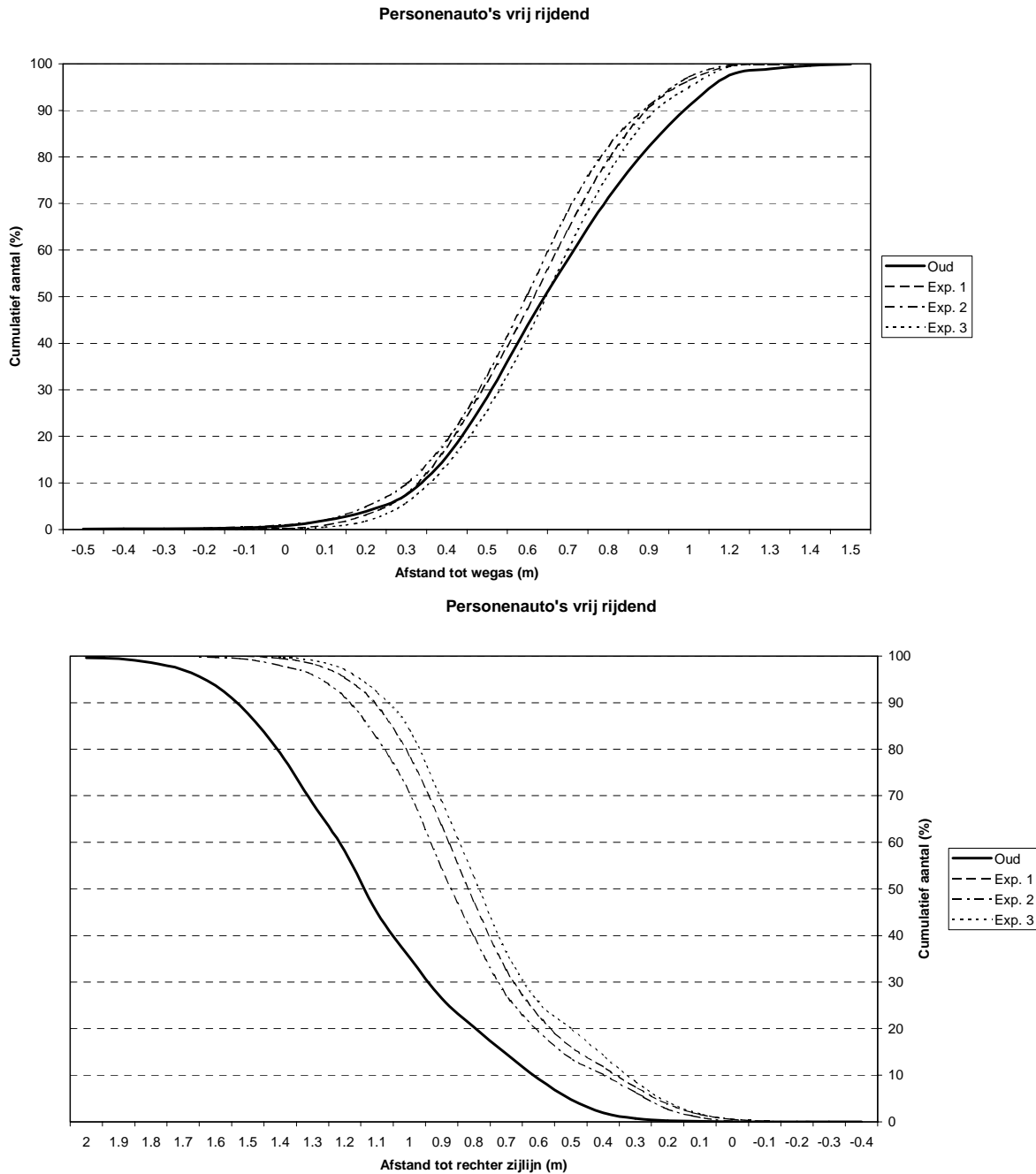
Figuur 2.6 toont de gemiddelde laterale positie voor personenauto's, uitgesplitst voor de positie ten opzicht van de wegas (dus niet ten opzichte van de lijn), en ten opzichte van de rechterzijlijn (respectievelijk bovenste en onderste grafiek, 2.6a en 2.6b). Duidelijk te zien is hoe bij tegenliggers de afstand tot de middenas significant toeneemt en de afstand tot de zijlijn vermindert (hoofdeffect van "verkeerssituatie" (wel - geen tegenliggers):  $F(1,16100) = 881.35$ ;  $p < 0.001$  en  $F(1,16100) = 659.87$ ;  $p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 0.0558$ ,  $df = 2$ ,  $p < 0.001$ ). Ook blijkt, maar dat is wat minder goed in de figuur te zien, dat per belijningstype de laterale positie verschillend is: in de experimentele condities bevinden de personenauto's zich dichterbij de wegas en dichterbij de zijlijn; dit komt ongetwijfeld door de smallere rijstrook die beschikbaar is (hoofdeffect van "conditie":  $F(3,16100) = 142.06$ ;  $p < 0.001$  en  $F(3,16100) = 2297.91$ ;  $p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 3.7639$ ,  $df = 6$ ,  $p < 0.001$ ).



*Figuur 2.6: Gemiddelde laterale positie voor personenauto's in de video-opnamen. Boven: figuur 2.6a, waarbij de afstand tot de fysieke wegas is weergegeven, beneden figuur 2.6b, waarin de afstand tot de buitenzijde van de rechter kantlijn is afgezet. Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*

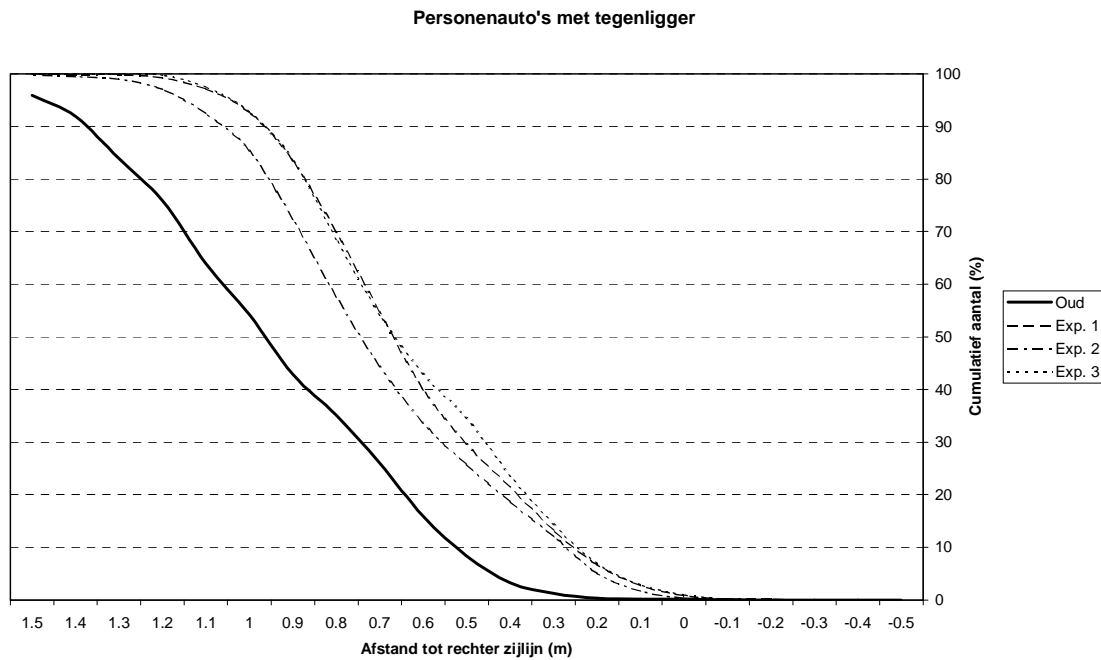
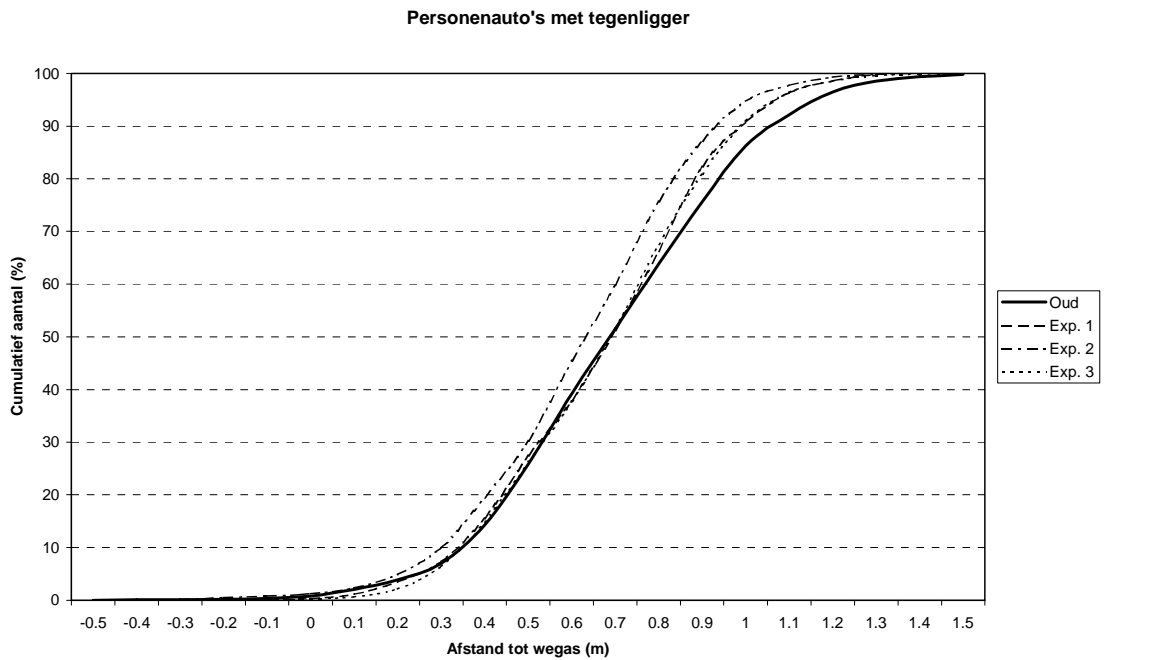
De verschillen tussen de positie van de voertuigen op de weg voor vrij rijden en voor tegenliggers, tenslotte, zijn kleiner in de proefbelijningscondities dan in de oude conditie (interactie tussen "conditie" en "verkeerssituatie":  $F(3,16100) = 4.34$ ;  $p < 0.01$  en  $F(3,16100) = 5.17$ ;  $p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 0.0011$ ,  $df = 6$ ,  $p < 0.01$ ). De bij de gemiddelden in de grafieken behorende standaarddeviaties zijn opgesomd in tabel 2.3. Hieruit blijkt dat de spreiding over de rijstrook bij de oude belijning iets groter is dan bij de drie proefbelijningscondities. Het verschil is echter maar heel klein; of het significant is kan op basis van deze gegevens niet worden getoetst. Er is soms ook een verschil

tussen de spreiding van de afstand tot de wegas en de afstand tot de zijlijn. Deze hoort in principe identiek te zijn, maar omdat de twee afstandsmaten afzonderlijk zijn gemeten ontstaat er meertuis die deze (kleine) verschillen veroorzaakt.



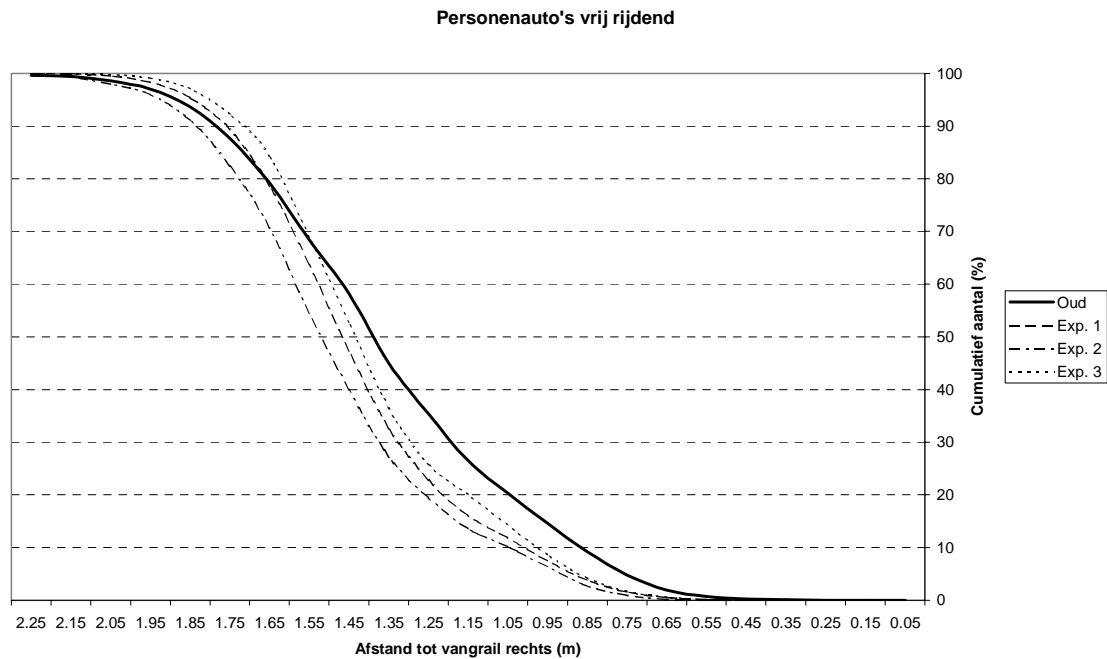
*Figuur 2.7: Cumulatieve verdeling van personenauto's zonder tegenliggers (vrij rijdend) op de Zeelandbrug, ten opzichte van het fysieke midden van de weg (figuur 2.7a, boven) en ten opzichte van de rechter zijlijn (figuur 2.7b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*

Een grafiek van de cumulatieve verdeling toont dat er op de proefwegvakken preciezer wordt gereden (zie figuur 2.7a en 2.7b voor vrij rijden en figuur 2.8a en 2.8b voor de situatie met tegenliggers). De grafieken van de laterale-positieverdeling op de proefwegvakken zijn steiler dan die op de oorspronkelijke brug.



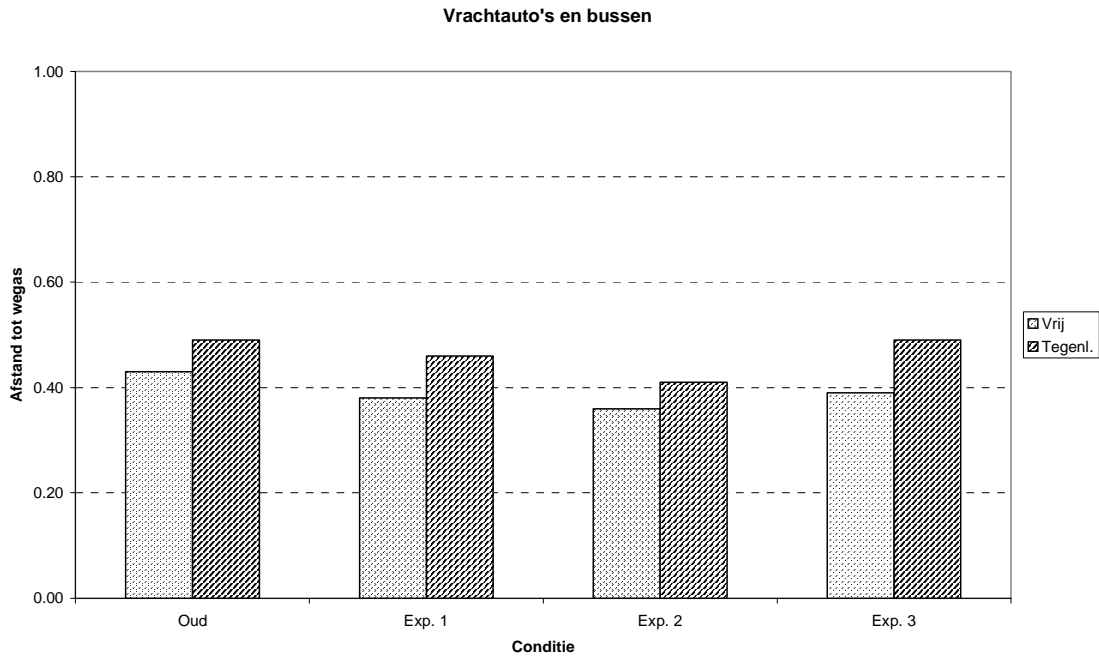
*Figuur 2.8: Cumulatieve verdeling van personenauto's zonder tegenliggers (vrij rijdend) op de Zeelandbrug, ten opzichte van het fysieke midden van de weg (figuur 2.8a, boven) en ten opzichte van de rechter zijlijn (figuur 2.8b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*

Dat geldt met name bij de grafieken voor de zijlijn. Het betekent dat de bestuurders op de proefwegvakken minder wegbreedte gebruiken om koer te houden: "strakker" rijden. Ook is hierbij te zien dat de bestuurders de beschikbare ruimte aan de kant van de zijlijn ook daadwerkelijk gebruiken: de grafieken van de proefvakken staan voor het grootste deel dicht op de 0 m (= locatie buitenkant zijlijn) dan die van de oorspronkelijke situatie. In de proefsituatie is naast de streep meer ruimte dan in de oorspronkelijke situatie: de grafiek is getekend vanaf de buitenkant van de rechterzijlijn, maar voor de proefwegvakken is er dan nog 0.65 m ruimte tot de vangrail, terwijl bij de oorspronkelijke brug de vangrail aan de oostkant op 0.33 m en aan de westkant zelfs op 0.15 m van de streep staat. De afstand tot de vangrail kan ook worden genomen als maat



*Figuur 2.9: Cumulatieve verdeling van personenauto's op de Zeelandbrug ten opzichte van de vangrail aan de rechterkant, vrij rijdend zonder tegenliggers (figuur 2.9a, boven) en met tegenliggers (figuur 2.9b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*

voor laterale positie: dit is met name interessant voor de cumulatieve verdelingen. Figuur 2.9a en 2.9b toont deze verdelingen voor vrij rijden en met tegenliggers. Te zien is dat de afstand tot de vangrail van de personenauto's voor alle condities globaal met elkaar overeenkomt, maar dat de proefvakken, zoals al gemeld, een steilere grafiek vertonen. Er is een aanwijzing dat alternatief 3 wat betreft de laterale positie het beste alternatief zou kunnen zijn: in de cumulatieve verdelingen blijkt dat bestuurders op dit alternatief iets verder van de wegas wegblijven dan op de andere alternatieven: de betreffende stippellijn in de linker staart van de verdeling is in figuur 2.7a en figuur 2.8a verder van de wegaf. Dit effect kan echter met deze gegevens niet verder worden getoetst.



Figuur 2.10: Gemiddelde laterale positie voor vrachtwagens en bussen in de video-opnamen. Boven: figuur 2.10a, waarbij de afstand tot de fysieke wegas is weergegeven, beneden figuur 2.10b, waarin de afstand tot de buitenzijde van de rechter kantlijn is afgezet. Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.

### Vrachtwagens en bussen

In figuur 2.10 is de laterale positie voor vrachtwagens en bussen afgebeeld., vrij rijdend en met tegenliggers (respectievelijk 2.10a en 2.10b). Voor deze categorie voertuigen blijken in de statistische toets van de verschillen tussen de gemiddelde posities alleen de hoofdeffecten significant te zijn: de vrachtwagens en bussen houden met tegenliggers meer afstand tot de middenas en minder tot de zijbelijning ( $F(1,2240) = 94.15; p < 0.001$  en  $F(1,2240) = 72.83; p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 0.0420, df = 2, p < 0.001$ ), en ze houden op de proefbelijningsvakken vergeleken met de oude

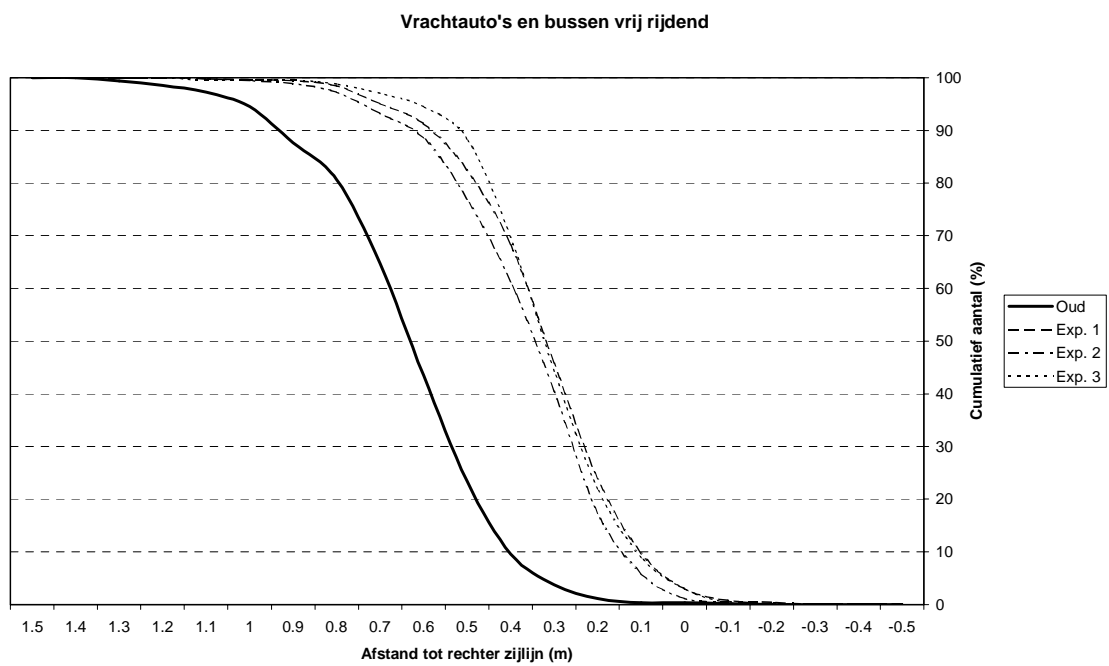
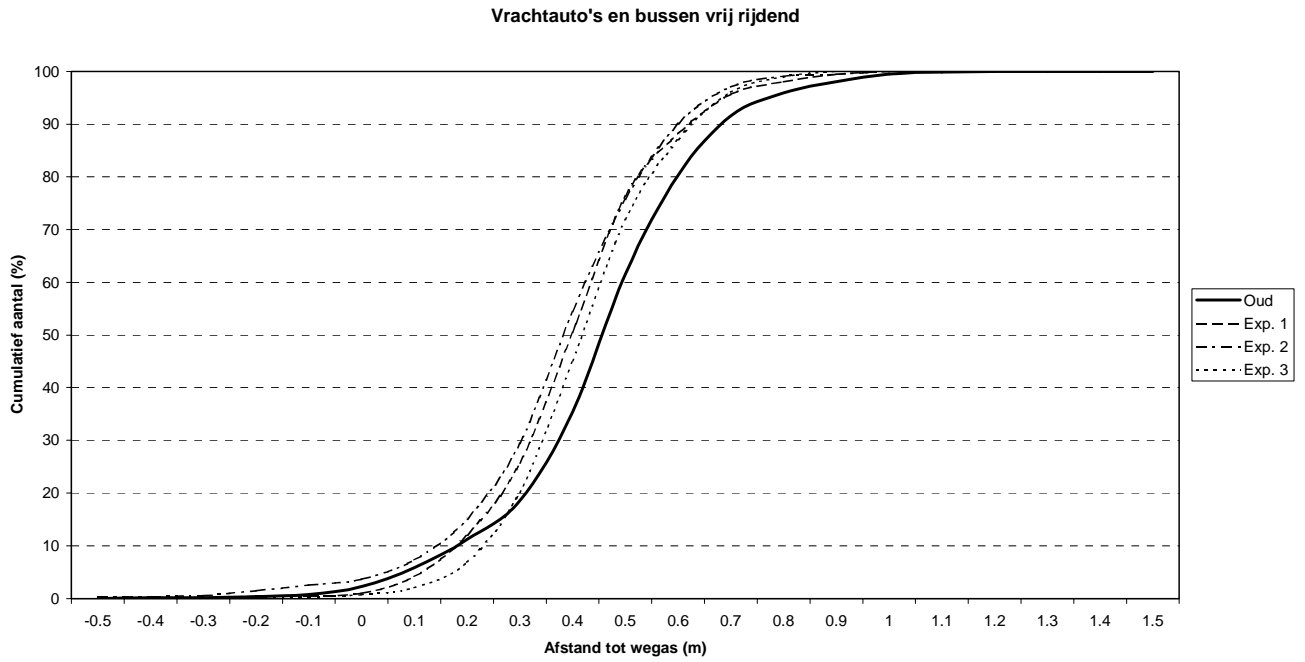
belijning minder afstand tot de wegas en tot de zijbelijning ( $F(3,2240) = 32.14$ ;  $p < 0.001$  en  $F(3,16100) = 487.06$ ;  $p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 4.3504$ ,  $df = 6$ ,  $p < 0.001$ ). De interactie was niet significant. Ook bij deze analyse is voertuigbreedte "weggerekend" door deze variabele als covariaat in de analyse te betrekken. Uit tabel 2.3 waarin ook de spreiding voor de vrachtwagens is opgenomen blijkt dat deze nauwelijks verschillen tussen de verschillende condities bij het vrij rijden en is er slechts een klein verschil bij het rijden met tegenliggers. Kennelijk rijden vrachtauto's al zo goed mogelijk recht als ze kunnen.

Tabel 2.3: Standaarddeviatie voor de gemiddelde laterale positie ten opzichte van de wegas (bovenste getal) en de zijlijn (onderste getal per cel) uitgesplitst per conditie, per voertuigtype en per situatie.

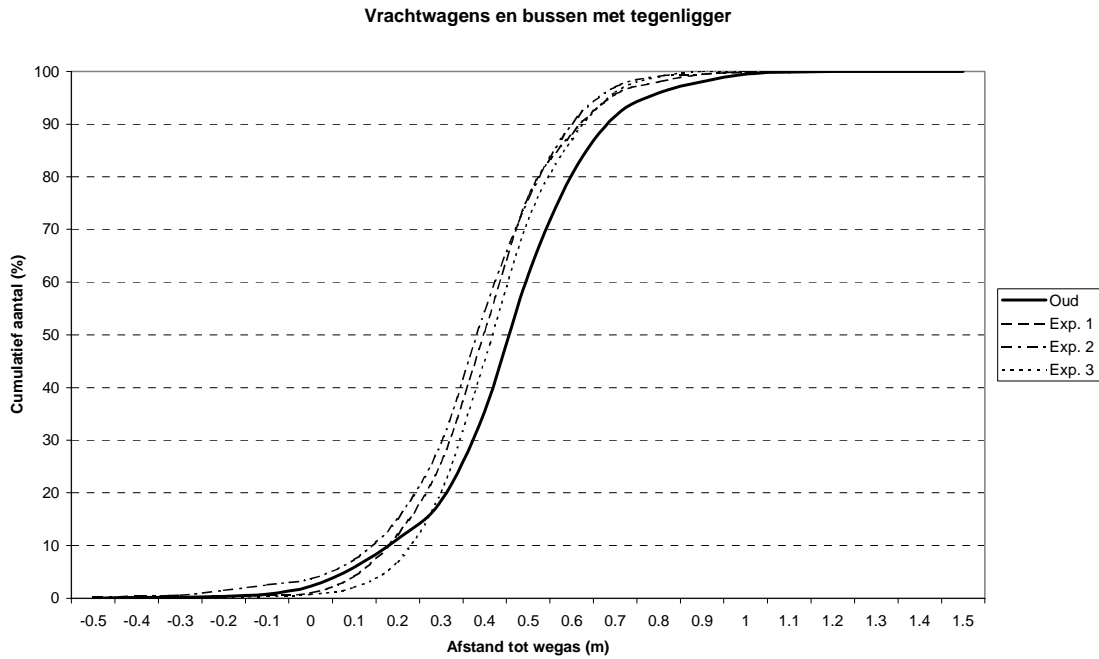
	personenauto's		vrachtauto's en bussen	
	vrij	tegenliggers	vrij	tegenliggers
Oud	0.25	0.23	0.20	0.21
	0.28	0.25	0.21	0.20
Exp. 1	0.20	0.19	0.17	0.17
	0.20	0.19	0.20	0.18
Exp. 2	0.21	0.20	0.20	0.18
	0.22	0.20	0.20	0.18
Exp. 3	0.20	0.19	0.16	0.14
	0.20	0.19	0.18	0.16

De cumulatieve verdelingsplots in de figuren 2.11a en 2.11b (voor vrij rijden) en 2.12a en figuur 2.12b (voor rijden met tegenliggers) tonen ook hoe vrachtwagens en bussen bij de oude belijning verder van de lijnen afblijven dan bij de proefbelijningen. Dat de spreiding van de vrachtauto's en de bussen op de rijstrook per situatie en per conditie niet veel verschilt blijkt uit het feit dat de plots voor de proefbelijningsvakken even steil zijn als die van de oude belijningssituatie. Als in plaats van de afstand tot de zijlijn de afstand tot de vangrail wordt afgezet (figuur 2.13a en 2.13b) dan verschijnt een iets ander beeld dan bij de personenauto's: vrachtwagens en bussen lijken iets verder van de vangrail af te blijven dan personenauto's in de nieuwe belijningscondities.

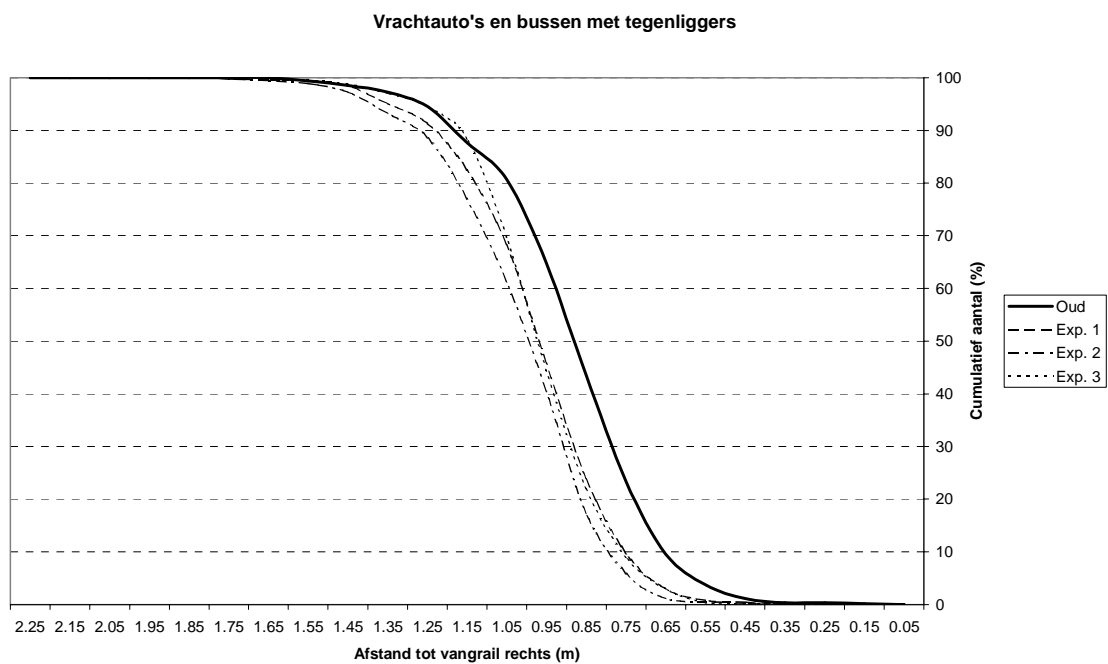
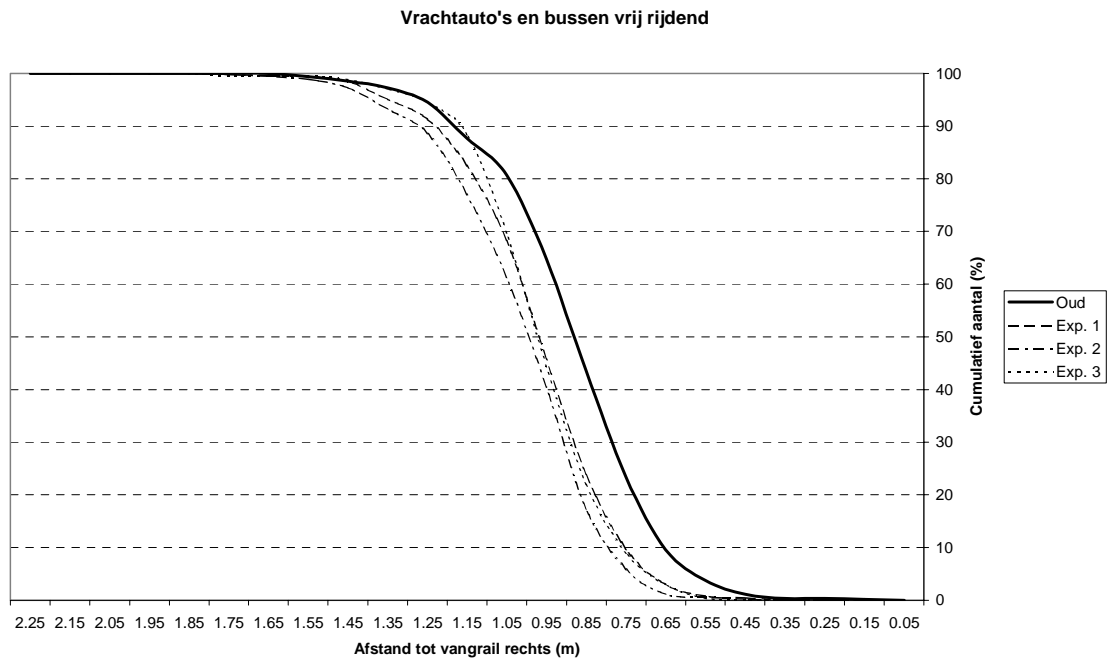
Ook voor vrachtwagens en bussen geldt dat er een aanwijzing is in de grafieken van de cumulatieve verdelingen, dat alternatief 3 het beste is om deze voertuigen op de wegas van de rijstrook voor tegemoetkomend verkeer weg te houden. Evenals bij de personenauto's blijft de stippellijn voor alternatief 3 in de linker staart van de verdeling verder van de wegas dan de lijn van de andere alternatieven; dit kan echter niet nader worden getoetst.



*Figuur 2.11: Cumulatieve verdeling van vrachtwagens en bussen zonder tegenliggers (vrij rijdend) op de Zeelandbrug, ten opzichte van het fysieke midden van de weg (figuur 2.7a, boven) en ten opzichte van de rechter zijlijn (figuur 2.7b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*



*Figuur 2.12: Cumulatieve verdeling van vrachtwagens en bussen met tegenliggers op de Zeelandbrug, ten opzichte van het fysieke midden van de weg (figuur 2.8a, boven) en ten opzichte van de rechter zijlijn (figuur 2.8b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3.*



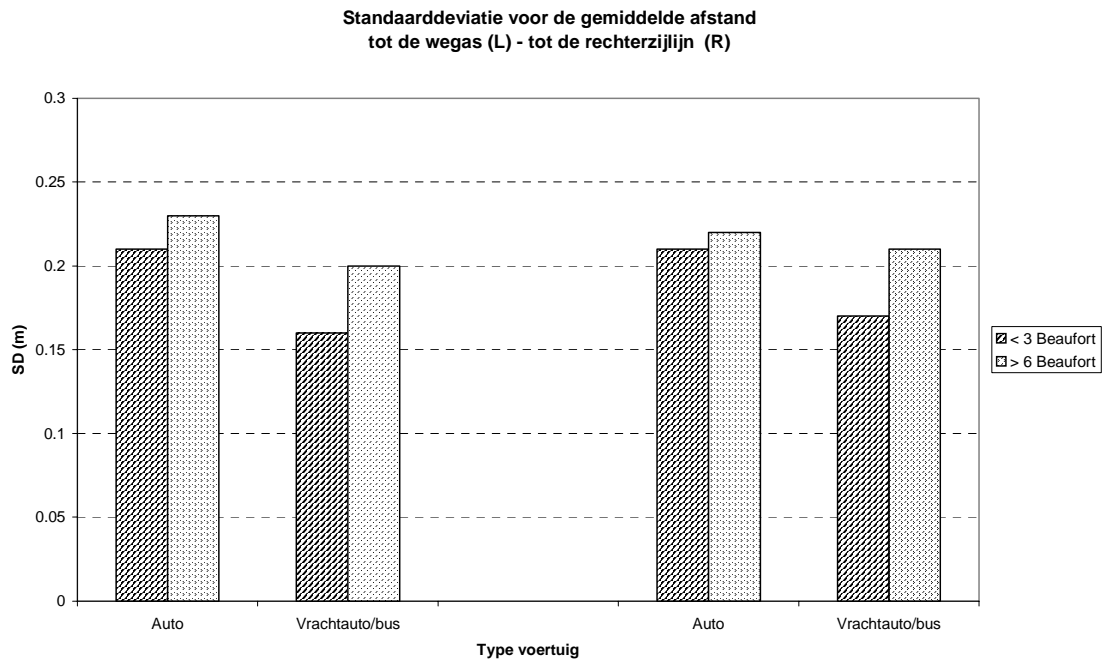
*Figuur 2.13: Cumulatieve verdeling van vrachtwagens en bussen op de Zeelandbrug ten opzichte van de vangrail aan de rechterkant, vrij rijdend zonder tegenliggers (figuur 2.13a, boven) en met tegenliggers (figuur 2.13b, beneden). Oud = oorspronkelijke brug; Exp. 1 = proefvak 1; Exp. 2 = proefvak 2; Exp. 3 = proefvak 3*

### *Invloed van zijwind*

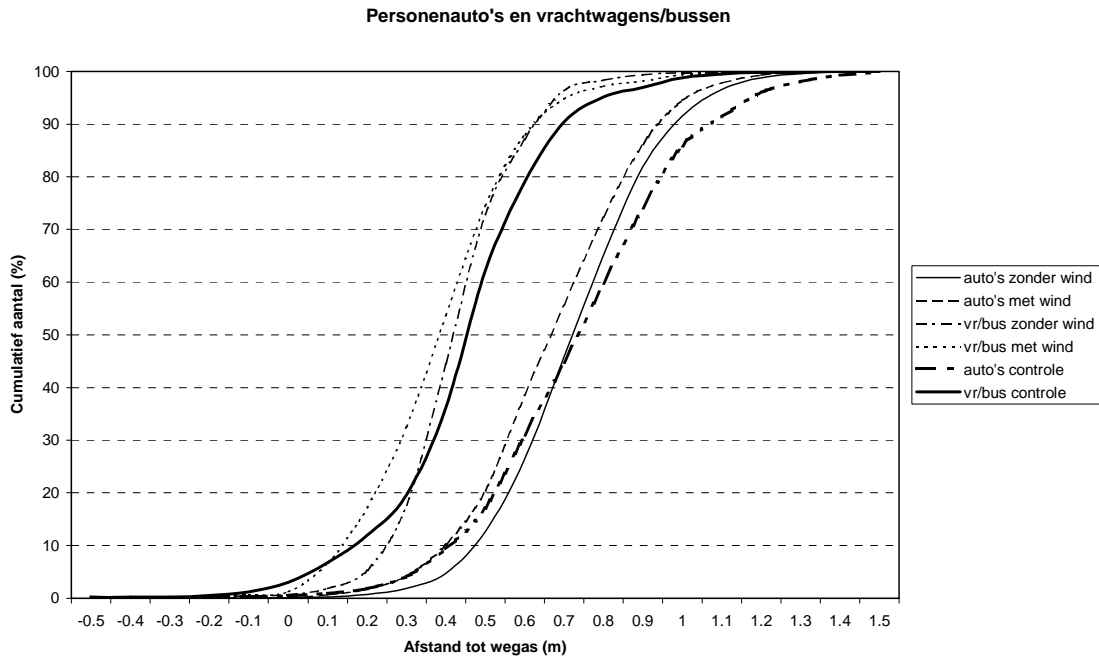
Om een indicatie te krijgen van de effecten van zijwind op de laterale positie is een nadere dataselectie uitgevoerd. In het logboek dat werd bijgehouden bij het uitvoeren van de video-opnamen was de windkracht in klassen aangetekend. Er is een selectie gemaakt door observaties te nemen die gemaakt waren met windkrachten van 0 t/m 3 Beaufort, of van 6 Beaufort of meer. Hierbij werd alleen gekeken naar observaties op de proefbelijningen, want er waren voor de oude belijning geen opnamen bij een windkracht meer dan de 4-5 Beaufort-klasse. De gegevens van de laterale positie ten opzichte van de wegas en de zijlijn zijn gemiddeld, afzonderlijk voor personenauto's en voor vrachtwagens en bussen. De gegevens voor de drie proefbelijningsvakken en twee verkeerssituaties (met en zonder tegenliggers) zijn bij elkaar genomen om met name in de groep vrachtwagens en bussen voldoende observaties te hebben. Figuur 2.14 geeft de gemiddelden, terwijl figuur 2.15 de standaarddeviaties toont. Een MANOVA is uitgevoerd om te toetsen of deze gemiddelden van elkaar verschillen. De laterale positie voor de personenauto's en voor de vrachtwagens en bussen is significant verschillend van elkaar, zowel ten opzichte van de wegas als van de zijlijn ( $F(1,6955) = 4.47; p < 0.05$  en  $F(1,6955) = 19.57; p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 0.0163, df = 2, p < 0.001$ ). Duidelijk is te zien dat de vrachtwagens en bussen dichter bij de wegas en bij de zijlijn rijden dan de personenauto's: verklaarbaar vanuit hun grotere breedte. Significant is ook dat bij sterkere wind voertuigen meer naar de wegas toe tijden, en iets verder van de zijlijn af blijven ( $F(1,6955) = 41.17; p < 0.001$  en  $F(1,6955) = 54.41; p < 0.001$  respectievelijk voor de afstand tot wegas en zijlijn; multivariaat getoetst: Hotellings  $T^2 = 0.0095, df = 2, p < 0.001$ ). Voor een indicatie van de invloed van de wind op het slingeren kan de standaarddeviatie dienen (hoewel dit statistisch niet kan worden getoetst in deze meetopzet). Bij sterkere wind neemt de standaarddeviatie van de laterale positie toe. Deze toename is gering, maar wel groter voor vrachtauto's en bussen dan voor personenauto's. Om inzicht te krijgen in de verdeling is ook voor de uitsplitsing naar weinig en veel wind een cumulatieve verdeling getekend (figuur 2.16a en 2.16b, respectievelijk voor de situatie bij de wegas en bij de zijlijn). Met name bij de wegas is te zien dat het grootste deel van de verdeling op de alternatieve belijningen zich links van de verdeling op de oorspronkelijke brug ("controle"). Echter waar het kritisch is, nabij de wegas, blijkt dat ook bij veel wind de verdeling van de alternatieve belijningen rechts van die van de oorspronkelijke belijning blijft, met name voor vrachtwagens en bussen. Voor personenauto's ligt de verdeling met wind nabij de as op de verdeling zonder wind in de oorspronkelijke situatie: het wordt er dus niet slechter van.



Figuur 2.14: Gemiddelde afstand tot de wegas (linker helft van de grafiek) en rechter zijlijn (rechter helft van de grafiek), uitgesplitst voor auto's en vrachtwagens&bussen, afzonderlijk voor situaties met weinig en met veel wind.



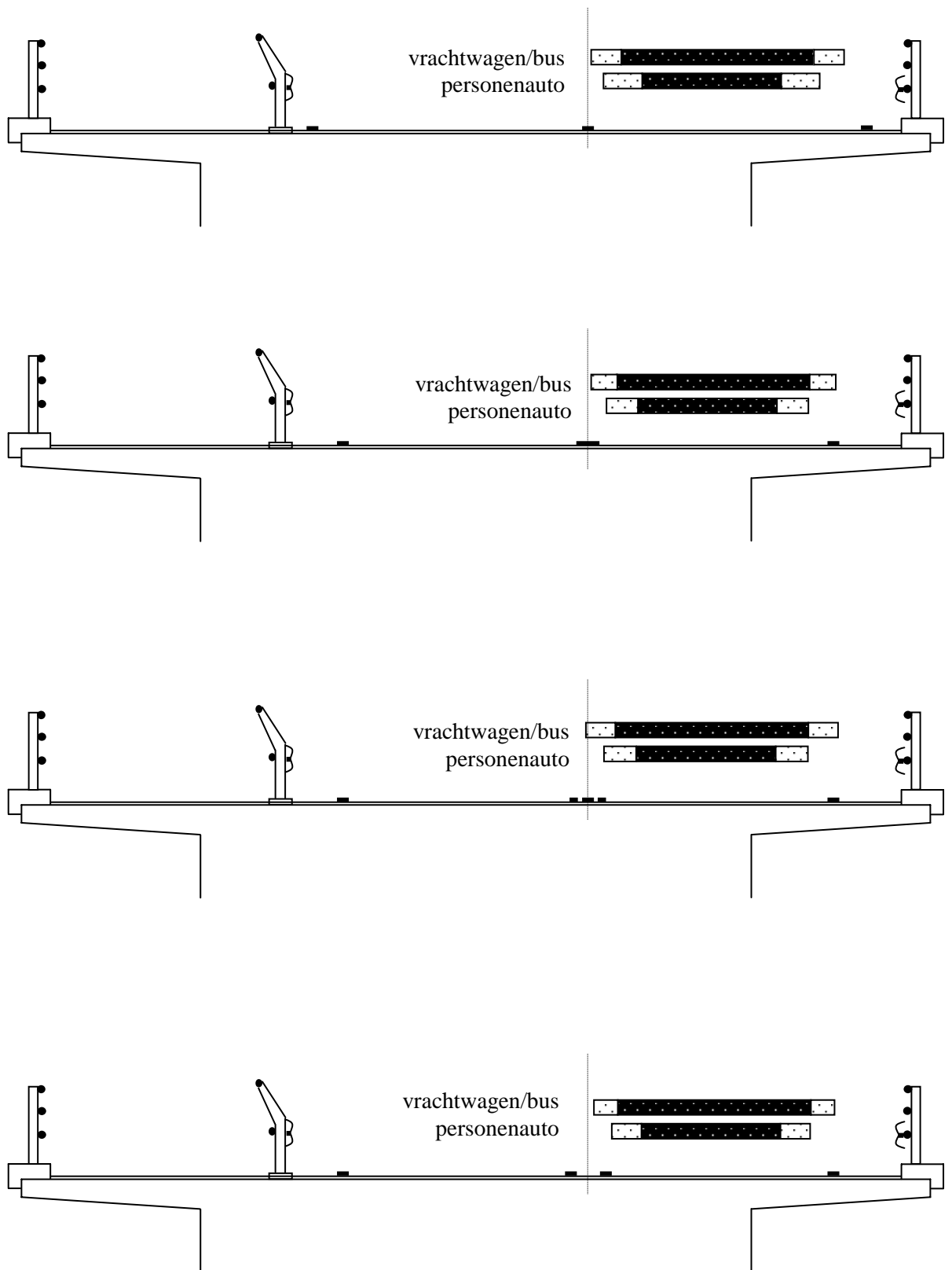
Figuur 2.15: Standaarddeviatie van de laterale positie voor de afstand tot de wegas (linker helft van de grafiek) en rechter zijlijn (rechter helft van de grafiek), uitgesplitst voor auto's en vrachtwagens&bussen, afzonderlijk voor situaties met weinig en met veel wind.



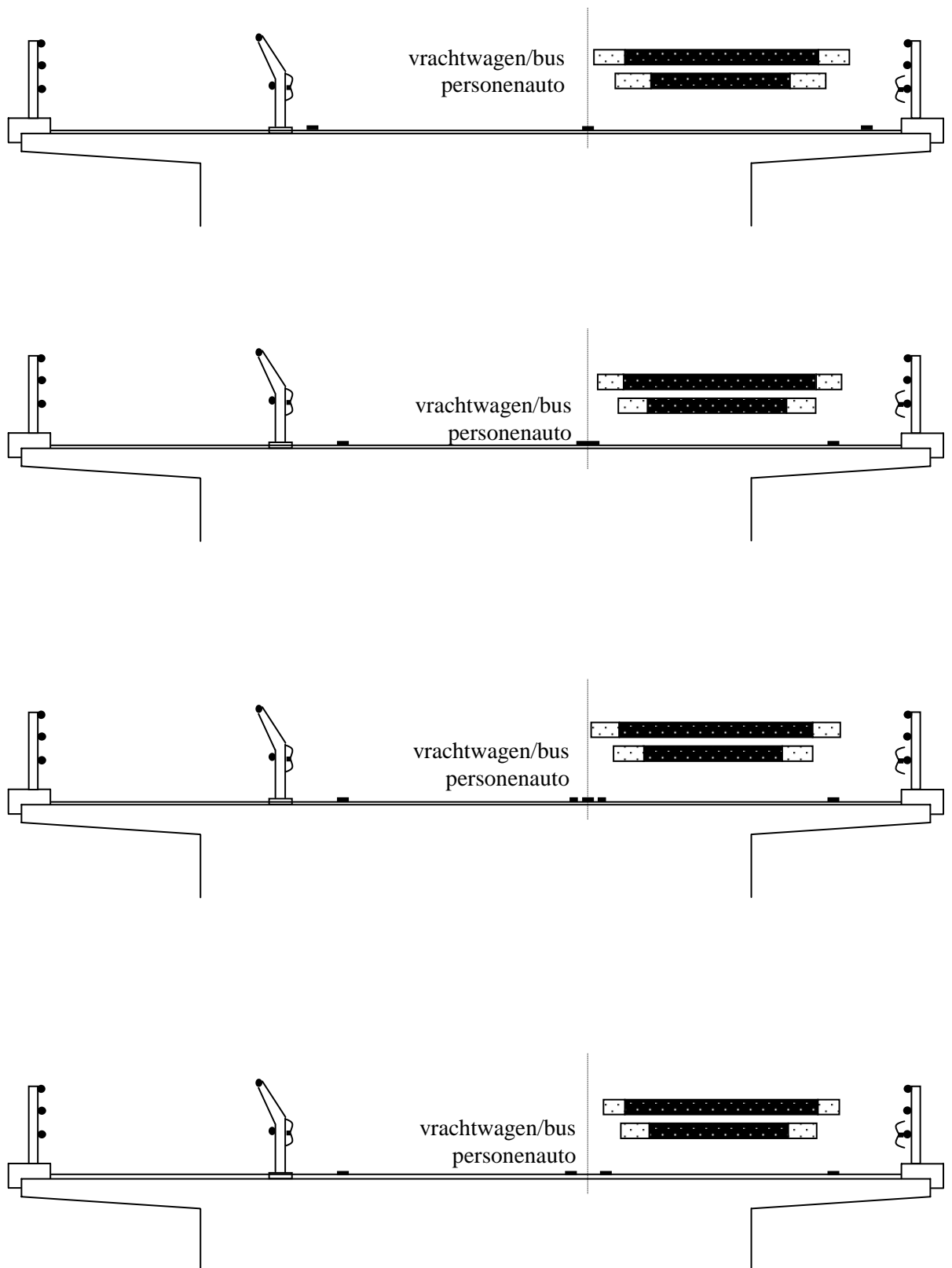
*Figuur 2.16: Cumulatieve verdelingen van de positie op de Zeelandbrug voor situaties met veel wind, vergeleken met situaties met weinig wind. De drie proefvakken zijn hier bij elkaar genomen om voldoende gegevens te verkrijgen. Voor de controlesituatie (de oorspronkelijke brug) was er tijdens de video-opname onvoldoende wind om een veel-wind situatie te hebben.*

## 2.5 Resultaten - Overzicht

Om een overzicht te krijgen wat de laterale-positiekeuze en de spreiding daarvan betekent zijn de figuren 2.17 en 2.18 toegevoegd. Dergelijke figuren zullen in het simulator-deel van deze rapportage ook worden gepresenteerd, zodat er vergelijkingen kunnen worden gemaakt. Figuur 2.17 bevat de gegevens van de situatie zonder tegenliggers; figuur 2.18 toont de situatie met tegenliggers. De zwarte balk is de gemiddelde personenauto of vrachtwagen/bus, ingetekend op de gemiddelde laterale positie ten opzichte van het midden van de rijbaan. De lichte balkjes links en rechts van deze zwarte balk geven de breedte aan van het 95%-betrouwbaarheidsinterval; dat is de spreiding van 95% van de voertuigen. Dit interval is berekend door de laterale positie plus of min 1.96 maal de standaarddeviatie te nemen. Het betekent ook, dat er nog steeds 5% van de voertuigen buiten de breedte van deze balkjes vallen, 2.5% links en 2.5% rechts. Deze figuur is in feite een andere manier van beschouwen van de cumulatieve verdelingen-figuren. Goed te zien is dat bij de oorspronkelijke brug vrachtwagens en bussen - die breder zijn - meer ruimte nodig hebben (breder "totaalbalk") dan personenauto's; ze slingeren echter minder (kortere lichte balkjes links en rechts van de zwarte balk). Zonder tegenliggers rijden ruim 2.5% van de vrachtwagens en bussen links van de middenas bij proefvak 2. Op alle andere bruggen en op de oude brug blijft meer dan 97.5% van de vrachtwagens en bussen rechts van de as. Met tegenliggers blijft meer dan 97.5% van de vrachtwagens en bussen rechts van de as, op alle proefvakken. Voor personenauto's zijn de figuren eveneens duidelijk - ze blijven niet alleen zo goed als altijd van de as af, maar zelfs van de belijning.



Figuur 2.17: Overzicht van de laterale positie van personenauto's en vrachtwagens & bussen op de Zeelandbrug bij de video-observatie, rijdend zonder tegenliggers. Van boven naar beneden: de oorspronkelijke situatie, proefvak 1, 2 en 3. De positie wordt weergegeven door het donkere balkje, dat zo lang is als de gemiddelde voertuigbreedte van het betreffende type; de lichte balkjes geven links en recht het interval aan waarbinnen 95% van de voertuigen te vinden is (horizontale schaal 1:76.9, verticale schaal niet relevant).



*Figuur 2.18: Overzicht van de laterale positie van personenauto's en vrachtwagens & bussen op de Zeelandbrug bij de video-observatie, rijdend met tegenliggers. Van boven naar beneden: de oorspronkelijke situatie, proefvak 1, 2 en 3. De positie wordt weergegeven door het donkere balkje, dat zo lang is als de gemiddelde voertuigbreedte van het betreffende type; de lichte balkjes geven links en recht het interval aan waarbinnen 95% van de voertuigen te vinden is (horizontale schaal 1:76.9, verticale schaal niet relevant).*

## 2.6 Discussie

Uit de video-analyse blijkt dat de alternatieve belijningen zorgen voor een verbetering van het rijgedrag op de Zeelandbrug ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Dit blijkt uit het inhalen en de laterale positie. De resultaten op deze aspecten, zoals in voorgaande paragraaf van dit verslag gerapporteerd, zijn een nadere discussie waard.

Wat betreft het inhalen werd gevonden dat er op alle proefvakken duidelijk een forse reductie van het aantal inhaalmanoeuvres is ontstaan door het aanbrengen van een doorgetrokken middenstreep. Op proefvak 3 is de reductie ten opzichte van de oorspronkelijke situatie al fors, op proefvakken 1 en 2 is deze nog groter. Het (significante) verschil tussen de proefvakken 1 en 2 enerzijds en proefvak 3 anderzijds zou veronderstellen dat het een gevolg is van de andere manier van belijning. Wat dat betreft lijkt het erop dat de proefvakken 1 en 2 het beste in staat zijn om inhalen te onderdrukken. Dit effect wordt echter ook veroorzaakt door de aanwezigheid van de klapbrug aan de noordkant van proefvak 3. Als deze brug geopend is en weer sluit komt een verkeersstroom op gang waardoor meer inhalers optreden. Daardoor worden de inhaalcijfers voor proefvak 3 ongetwijfeld ongunstig beïnvloed in een mate die niet uit deze onderzoeksopzet is te achterhalen. Volgorde-effecten en gewenning spelen hierbij geen rol, want de opnamen van proefvak 1 zijn na die van proefvak 3 gemaakt; een gewenningseffect zou dan juist meer inhaalmanoeuvres op proefvak 1 vergeleken met proefvak 3 moeten laten zien. Dus wat betreft het inhalen kan niet een der proefvakken ondubbelzinnig als het beste worden aangewezen.

Wat betreft de laterale positie van personenauto's dan lijkt die vooral bepaald te worden door de plaats van het midden van de weg. Als er geen tegenliggers zijn, dat proberen de personenauto's duidelijk binnen de lijnen te rijden. Met tegenliggers proberen ze die te ontwijken, en als dat inhoudt dat rechts de lijnen moeten worden overschreden dan doen bestuurders dat. Met tegenliggers richten de bestuurders zich kennelijk op het aanhouden van afstand ten opzichte van de middenas, en zullen ze de afstand tot de vangrail en niet tot de rechter belijning nemen om zich op te richten. Blijkbaar is rechts ten opzichte van de auto de "harde werkelijkheid" van de vangrail een duidelijker object voor laterale-positiebepaling dan de belijning. Ondanks dat de cumulatieve verdeling toont dat de voertuigen over de gehele breedte van de rijstrook te vinden zijn, blijkt dat de personenauto's globaal uitstekend in staat zijn binnen de rijstrookbreedte te blijven rijden. De overzichtsfiguren geven dat nog eens duidelijk weer.

De spreiding van de laterale-positiekeuze is voor personenauto's op de oude belijningsconditie iets groter dan op de proefbelijningsvakken. Voor vrachtwagens is dit verschil nog kleiner of zelfs afwezig. Voor het optreden van spoorvorming is deze observatie relevant; het betekent dat er verwacht kan worden dat er een zelfde mate van spoorvorming zal optreden bij de proefbelijnde vakken vergeleken met de oude belijning.

Vrachtwagens en bussen lijken ook goed in staat om de rijstrook te houden, maar een groter percentage dan de personenauto's rijdt toch over de fysieke weg heen, zoals te zien is in de cumulatieve verdelingen. De verschillen van hun koers binnen de lijnen zijn minder groot, waarschijnlijk eenvoudigweg omdat er voor hen nog minder ruimte binnen de lijnen is. Ook is het verschil in spreiding tussen de oude en de proefbelijningen minder of afwezig; kennelijk rijden vrachtwagens en bussen op de Zeelandbrug al zo goed mogelijk recht. Verder lijkt het erop dat vrachtwagens en bussen wat meer van de rechterzijlijn gebruik maken als richtlijn dan personenauto's, in die zin dat ze bij de proefbelijningen meer afstand tot de vangrail houden dan bij de oude situatie. Het zou kunnen zijn dat vrachtwagen- en buschauffeurs bij de oude situatie - waarbij de lijnen zich vlak bij de vangrail bevinden - de vangrail gebruiken als richtlijn, terwijl ze bij de proefbelijningen de lijnen gebruiken, die bovendien op het moment van observatie nog fris geschilderd waren en dus veel beter zichtbaar dan de oude belijning. Gegeven het

feit dat de lijnen in de uiteindelijke versie van erg slijtvast materiaal zullen worden uitgevoerd, is de verwachting dat deze afstand ook op de langere duur zal worden aangehouden.

De invloed van de wind blijkt uit de detail-analyse door de uitsplitsing van gegevens van harde wind (6-7 Beaufort) vergeleken met weinig wind (3 Beaufort of minder). Bij harde wind blijkt dat bestuurders meer naar de middenas rijden. Dit is geen effect van rijrichting. Verwacht zou worden dat bij een overwegend zuidwesten wind een sterkere wind voertuigen die rijden in de noord-zuid richting meer naar de wegas zou blazen, en voertuigen die rijden in de zuid-noord richting juist meer naar de zijlijn. Dit blijkt niet het geval: de gegevens hebben betrekking op beide rijrichtingen, en elke observatie bevat zowel een meting van de afstand tot de wegas als een meting van de afstand tot de zijlijn. Weliswaar slechts indicatief is dat het er ook op lijkt dat voor vrachtwagens en bussen het slingeren meer toeneemt bij sterke wind dan voor personenauto's; hun spreiding over de rijstrook neemt toe. Desondanks is er in de cumulatieve verdeling een steilere daling nabij de wegas dan in de oorspronkelijke conditie, ook wanneer er veel wind staat. Dat betekent dat ook bij wind de alternatieve belijningen het blijven rijden in de juiste rijstrook beter ondersteunen dan de oorspronkelijke belijning.

Kort samengevat: uit de hier verzamelde gegevens kan niet zonder meer eenduidig gekozen worden welk van de drie proefbelijningen de voorkeur verdient, maar er kan een suggestie worden gedaan om te kiezen voor alternatief 3. Duidelijk is dat alle drie de belijningen de bestuurders van personenauto's maar ook van vrachtwagens en bussen duidelijk in hun rijtaak ondersteunen, waardoor ze in staat zijn die taak naar behoren uit te voeren. In dat opzicht vormen de alternatieven zeker een verbetering ten opzichte van de oude situatie. De ruimte voor vrachtwagens en bussen is echter aan de krappe kant; zij benutten dan ook de restructuur aan de zijkant, en nemen, waar dat nodig en mogelijk is, ruimte in nabij de wegas. Een suggestie voor een keuze op basis van de laterale positie komt uit tegen alternatief 2 en vóór alternatief 3. Deze suggestie is dan gebaseerd op de overzichtsfiguren en de cumulatieve verdelingen: op proefvak 2 blijken voertuigen meer naar het midden te rijden, ook met tegenliggers, terwijl dat op proefvak 3 voertuigen het meest rechts houden. Bij de combinatie van plaats en spreiding blijkt er in de cumulatieve grafieken een aanwijzing te zijn die ook pleit voor alternatief 3; dicht bij de wegas blijken zich daar minder auto's op te houden dan bij de andere alternatieven. Dit geldt ook voor vrachtwagens en bussen. Alternatief 3 heeft wat betreft de reductie van het aantal inhaalmanoeuvres weliswaar de schijn tegen van het minst gunstige alternatief, maar hierbij dient de invloed van de klapbrug in het oog te worden gehouden. Ook bij dit alternatief is er een reductie van ruim 300 tot 60, dus een reductie tot 20% van het oorspronkelijke aantal. De verwachting is dat meer aan de zuidkant van de brug ook bij alternatief 3 minder inhalen zal voorkomen dan vlak bij de klapbrug.

Een nader keuzecriterium voor de belijning kan dan verder worden gezocht in de nachtzichtbaarheid, waarover in deze video-analyse geen gegevens zijn verzameld, of de houdbaarheid van de aangebrachte reflectoren. Wat betreft de rijnsnelheid worden de door de provincie Zeeland zelf verzamelde gegevens in het volgende hoofdstuk geanalyseerd. Wat betreft de beschikbare ruimte wordt in het nader te bespreken simulator-onderzoek meer gegevens verzameld, waarin ook de (visuele) invloed van de aan te brengen barrierestructuur wordt betrokken.



## 3 Deelrapportage snelheidsmetingen

---

### 3.1 Inleiding

De opdrachtgever, Provincie Zeeland, heeft in twee perioden voorafgaande aan het huidige onderzoek, en in de periode van de video-opnamen snelheidsmetingen verricht en deze gegevens in de vorm van verwerkte tabellen aan het COV ter beschikking gesteld, zodat ze hier kunnen worden besproken. Voor het huidige onderzoek is de gemiddelde snelheid, de standaarddeviatie, het aantal gemeten voertuigen en het 90e percentiel van de snelheidsverdeling van belang. Tabel 3.1 geeft een overzicht van deze waarden.

### 3.2 Relevante aspecten en resultaten

Voor het trekken van conclusies uit deze tabel dient rekening gehouden te worden met de volgende aspecten:

1. betrouwbaarheidsinterval rondom het gemiddelde en rondom het 90e percentiel;
2. invloed van etmaal-intensiteit;
3. invloed van locatie van het proefvak op de brug.

*ad 1: betrouwbaarheidsintervallen*

Om met het laatste te beginnen: uit de twee voor-metingen (oud in december 1997 en oud in februari 1998) blijkt dat er een verschil is tussen de gemeten snelheden. Dat kan liggen aan de periode - invloeden van weersomstandigheden en dergelijke - maar ook aan de intensiteit: hoe meer voertuigen op de brug, des te trager de doorstroming, des te lager de snelheden.

Het vergelijken van gemiddelde en percentielen kan niet zomaar gebeuren, er moet rekening gehouden worden met door toeval optredende verschillen die bij twee steekproeven kunnen voorkomen. Daardoor kan het zijn dat twee verschillen in werkelijkheid toch niet verschillend zijn. Statistische analyse betekent in feite dat de kans op het optreden van een toevallig verschil wordt berekend, en dat bij een voldoende kleine toevallskans deze wordt genegeerd. Het verschil is dan statistisch significant.

Bij de gemeten intensiteiten in tabel 3.1 is een verschil in gemiddelde snelheid van ongeveer plus of min 0.4 km/uur significant op een niveau van  $p = 0.01$ . Dit is als volgt berekend:  $2.58 * (sd / \sqrt{n-1})$ , namelijk 2.58 maal de standard error of mean (zie Guilford, 1973, p. 129-136), en hiervoor is het "ergste" geval genomen, de grootste sd (12.7) en de kleinste intensiteit (7208) in de tabel, en dat geeft afgerond naar boven 0.4 km/uur. Dit betekent dat er een  $p = 0.01$ -betrouwbaarheidsinterval rondom elke gemelde gemiddelde waarde bestaat van hoogstens plus of min 0.4 km/uur. Als een waarde buiten deze grenzen ligt dan is die significant verschillend. Er wordt hierbij een normaalverdeling gehanteerd. Als nu de proefvakken met de controlemetingen worden vergeleken dan blijkt dat in alle drie de gevallen de snelheid te zijn gereduceerd, met name op proefvak 3. Ook de onderlinge verschillen in snelheid zijn significant; het effect is op proefvak 3 het grootst, gevolgd door proefvak 2 en dan proefvak 1.

Tabel 3.1: Overzicht van de snelheidsmetingen, uitgevoerd door de Provincie Zeeland. Het betreft een gemiddelde over beide rijrichting. Gem = gemiddelde; sd = standaarddeviatie; 90% = 90e percentiel; % > 81 km/uur = percentage voertuigen dat sneller rijdt dan 81 km/uur; oud = oude situatie ter plaatse van proefvak 2 op de brug (twee meetperiodes); P1 = proefvak 1; P2 = proefvak 2; P3 = proefvak 3.

vak en meetperiode	gem snelheid	sd snelheid	gem etmaal- intensiteit	90e percentiel	gecorrigeerde vergelijking		% > 81 km/uur
					gem	90%	
oud 16-22/12/97	86.4	12.7	7208	103.0			64.3
oud 19-25/02/98	85.4	11.8	8243	100.8			61.4
P1 17-30/06/98	82.1	11.7	9973	96.9	83.7	97.1	48.2
P2 17-30/06/98	81.1	11.1	9914	94.5	83.8	97.2	44.8
P3 17-30/06/98	78.4	11.9	9789	91.1	83.9	97.5	36.8

Voor de percentielen is de berekening van een betrouwbaarheidsinterval iets anders; deze is bij een 90e percentielwaarde  $2.58 * ((sd/0.1755) * (\sqrt{(0.9*0.1)/n}))$  (zie Guilford & Fruchter, 1973, p. 149). Als genoemde sd en n worden ingevuld dan ontstaat een afgeronde waarde van plus of min 0.7 km/uur. Ook hierbij wordt de normaalverdeling gehanteerd, die in de hogesnelhedenstaart van de snelheidsverdeling als goede benadering kan gelden. Een vergelijking laat zien dat van alle drie de proefvakken het 90e percentiel van de snelheid ten opzichte van de controlemetingen daalt, weer het meest voor proefvak 3, met 11.9 km/uur (ten opzichte van de eerste controle-metperiode), dan voor proefvak 2 (8.5 km/uur) en dan voor proefvak 1 (6.1 km/uur). Ook de onderlinge verschillen zijn significant.

Voor frequenties of proporties is de berekening van een betrouwbaarheidsinterval weer anders (zie Guilford & Fruchter, 1973, p. 142-144). Hierbij zou gebruik gemaakt moeten worden van de binominale verdeling (wel-niet hoger dan de limietsnelheid), maar bij aantallen boven de 10 mag dat met een normale verdeling worden benaderd, hetgeen hier ruimschoots van toepassing is. Ook hier wordt de berekening maar een keer uitgevoerd voor het "ongunstigste geval". Het betrouwbaarheidsinterval voor de eerste controlemeting is  $100 * 2.58 * \sqrt{((0.643 * 0.357) / 7208)}$ , afgerond 1.5%. Dus een verschil van plus of min 1.5% in de proportie overtreders is significant. In de vergelijking blijkt dat alle drie de proefvakken lager uitkomen dan de controlemetingen. Bij proefvak 3 is de reductie het grootst, 27.5%, dan proefvak 2 (met 19.5%) en tenslotte proefvak 1 (met 16.1%), ten opzichte van de eerste controle-metperiode. Ook zijn hierbij de onderlinge verschillen significant.

#### *ad 2: Intensiteitsverschillen*

Omdat de verschillen in de twee voormetingen op basis van de beschikbare gegevens alleen te herleiden zijn tot intensiteitsverschillen kan een regressielijn worden berekend (zie Guilford, 1973, p. 337), waarmee bij andere intensiteiten (niet te veel afwijkend van de gepresenteerde) een andere "controleconditie-snelheid" kan worden geëxtrapoleerd. Hierbij wordt aangenomen dat een rechte lijn op dit deel van de ongetwijfeld curvelineaire relatie tussen intensiteit en snelheid voldoende is - er zijn niet meer gegevens voorhanden om een andere vorm van regressie te berekenen. Als dit wordt uitgevoerd op de gegevens van tabel 3.1 dan wordt de regressievergelijking voor de gemiddelde snelheid:

$$v(m) = 93.37 - 0.000967 * I \quad [1]$$

(waarin v(m) de gemiddelde snelheid is, en I de etmaalintensiteit). Deze redenering volgend voor het 90e percentiel ontstaat de vergelijking

$$v(90p) = 118.34 - 0.002128 * I \quad [2]$$

(waarin  $v(90p)$  de snelheid van het 90e percentiel bedraagt). Hierbij wordt aangenomen dat de verdeling niet wezenlijk van vorm verandert, zodat de verschuivingen van gemiddelde en 90e percentiel proportioneel zijn.

Als nu de intensiteiten van de drie proefvakken in deze twee vergelijkingen worden ingevuld dan ontstaat respectievelijk de gemiddelde en de 90e percentielsnelheid gecorrigeerd voor intensiteit. Deze zijn in de tabel voor de drie proefvakken ingevuld onder de kolom "gecorrigeerde vergelijking"

Met deze aanvulling op de gegevens kunnen de proefvakken worden vergeleken, gecorrigeerd voor intensiteit. Hoewel de meetperiode identiek was voor de drie proefvakken zijn er verschillende etmaal-intensiteiten; kennelijk zijn de tellers niet binnen hetzelfde uur uitgelezen. Het verdwijnen van voertuigen van de brug zou immers niet onopgemerkt zijn gebleven.

Vergeleken met de gecorrigeerde gemiddelden en 90e percentielwaarden hebben alle drie de proefvakken een significant lagere gemiddelde snelheid. De verschillen zijn echter veel minder groot dan in de ongecorrigeerde vergelijking werd gevonden. Het grootste verschil is voor proefvak 3, waarbij een reductie van 5.5 km/uur werd gevonden.

Vergeleken met de 90e-percentielsnelheid, en een betrouwbaarheidsinterval aanhoudend van 0.7 km/uur, blijkt dat in proefvak 1 het 90e percentiel ten opzichte van de voor intensiteit gecorrigeerde waarde in de controleperiode niet significant is verminderd. Voor de proefvakken 2 en 3 is dat wel het geval; de reductie bedraagt respectievelijk 2.7 en 6.1 km/uur.

#### *ad 3: Locatie op de brug*

Voor een goede interpretatie van de verschillen in snelheid op de drie proefvakken is de locatie op de brug belangrijk. Immers, de verschillen kunnen ook daaraan (deels) worden toegeschreven, en op basis van de huidige onderzoeksopzet, waarbij proefvak niet kan "rouleren" over bruglocatie, is hierin geen onderscheid te maken. De vergelijking van de controlemetingen met proefvak 2 zijn het beste, omdat de controlemetingen per plaatse van het toen nog niet aanwezige proefvak 2 zijn uitgevoerd. Afgezien van bestaande maar niet beschikbare seizoensverschillen, en gecorrigeerd voor intensiteitsverschillen (zie boven) zijn de snelheidseffecten op de locatie van proefvak 2 aan de belijning toe te schrijven. Bij proefvak 1 is er verder ook geen ander invloed dan tijd van het jaar en belijning waarmee de snelheidsverschillen kunnen worden verklaard. Een vergelijking toont dat de effecten op de snelheid het grootst zijn ter plaatse van proefvak 3, waarbij de laagste snelheden zijn gevonden vergeleken met de controlemetingen. Echter proefvak 3 bevindt zich het dichtst bij de beweegbare brug, die regelmatig open gaat. Ter plaatse van proefvak 3 zal daarom een lagere snelheid te verwachten zijn doordat verkeer in anticipatie op de brugsignalen afremt (oostelijke rijstrook), en na met opengaan van de brug weer langzaam op gang komt (westelijke rijstrook).

### **3.3 Conclusie**

De nieuwe belijning en het impliciete inhaalverbod op de Zeelandbrug resulteren in een duidelijke reductie van het aantal overtreders, een reductie in de gemiddelde snelheid en op twee van de drie proefvakken een reductie van het 90e percentiel van de snelheid. Op basis van de beschikbaar gestelde gegevens kan echter geen harde conclusie worden getrokken over welk proefvak de snelheid het beste reduceert. De verschillen tussen de vakken onderling zijn voor een deel toe te schrijven aan de locatie aan op de brug; de snelheden op met name proefvak 3 zullen door de aanwezigheid van de klapbrug worden beïnvloed. Voorts is de vraag of de gevonden reductie voor de opdrachtgever voldoende is:

- de 90e percentielwaarde is nog steeds tussen de 11 en 17 km/uur boven de limiet;
- in het gunstigste geval rijdt nog steeds meer dan 36% van de passanten te hard.

## 4 Deelrapportage simulator-onderzoek

---

### 4.1 Inleiding

Het is zeer kostbaar om een nog niet bestaande situatie in een schaalmodel op ware grootte te testen. Bovendien kunnen er situaties zijn die niet systematisch kunnen worden onderzocht, omdat ze in de werkelijkheid niet manipuleerbaar zijn. Om dit probleem te ondervangen is een simulator een nuttig en bruikbaar instrument. Nederland kent een lange traditie van scheepssimulatoren, maar ook vliegsimulatoren zijn al langer in gebruik. En windtunnels en waterstromingsbakken vormen simulatoren op kleine schaal. Aan dit arsenaal wordt sedert ongeveer 1990 de rijnsimulator toegevoegd. Het COV heeft een rijnsimulator ontwikkeld om de rijgedrag van bestuurders te kunnen bestuderen in allerlei naar believen te vormen situaties. Voor het onderzoek naar een nieuwe rijstrookindeling van de Zeelandbrug is de rijnsimulator gebruikt om de effecten op het rijgedrag te onderzoeken en te vergelijken met de oude situatie van drie alternatieve uitmonsteringen van de brug. Ook zijn vier snelheidsregimes (limiet van 60, 80, 100 km/uur en vrij rijden) aangeboden en drie varianten van zijwind (geen, een vaste zijwind en een variabele zijwind).

### 4.2 Methode

#### *Apparatuur*

De rijnsimulator van het COV bestaat uit een Silicon Graphics Onyx computer waarin een virtuele wereld wordt opgebouwd, met wegen, kruisingen en splitsingen, rotondes, gestileerde bebouwing, verkeersborden, verkeerslichten, matrixborden, wegwijzers, en allerlei objecten. Deze wereld wordt met drie video-projectoren op een halfmond doek geprojecteerd (gezichtsveld 150° horizontaal en 45° vertikaal). Dit projectiedoek bevindt zich voor een BMW die functioneel onaangetast is. De normaal gebruikelijke krachten op stuurwiel en pedalen worden door stappenmotoren en hydraulica nagebootst. Een geluidssampelsysteem biedt autogeluiden aan. Een proefpersoon kan met deze BMW als het ware rondrijden in de gesimuleerde wereld. Andere voertuigen worden geprojecteerd; er zijn personenauto's, bestelbusjes en vrachtauto's mogelijk. Deze andere voertuigen zijn grafisch vrij gestileerd, doch in hun gedrag realistisch omdat ze zijn gebaseerd op een uitgewerkt gedragsmodel van de bestuurder-autocombinatie. Het is mogelijk met deze opzet allerlei scenario's aan te bieden, zodat systematisch proefpersonen met bepaalde verkeerssituaties kunnen worden geconfronteerd.

Terwijl een proefpersoon in de wereld rondrijdt worden er voortdurend gegevens over het rijgedrag gemeten en opgeslagen, zoals snelheid, stuurwieluitslag, stand van pedalen, versnellingspook en knoppen en hendels, maar ook meer geavanceerde maten zoals de positie op de weg, de afstand tot de voorligger, Time to Collision (TTC) en Time to Linecrossing. (TLC). Een samenspel van deze maten geeft de mogelijkheid het rijgedrag tot in detail te analyseren.

### *Simulatie van de Zeelandbrug*

Aan de hand van foto's, video-opnamen en bouwtekeningen is een visueel model van het brugdek van de Zeelandbrug geprogrammeerd. Er zijn in feite vier verschillende Zeelandbruggen gemaakt: één oorspronkelijke brug en drie bruggen met de geplande betonnen barrier. Figuur 4.1 geeft de vier dwarsprofielen van de bruggen, terwijl figuur 4.2 simulatorbeelden van elk der bruggen toont. De COV-simulator maakt het momenteel nog niet mogelijk om hoogteverschillen aan te bieden, maar dit is voor het onderhavige onderzoek niet van belang. De Oosterschelde werd nagebootst als een grijsblauwgroene bak, 16 m onder het brugvlak, met een soort golfvenachtige textuur. Het wegdek was asfaltgrijs met een wegdektextuur. Ook de barriers werden van een lichtgrijze kleur voorzien, met enige textuur, zodat de omgeving een indruk van "visual flow" en snelheid gaf bij het doorheen rijden.

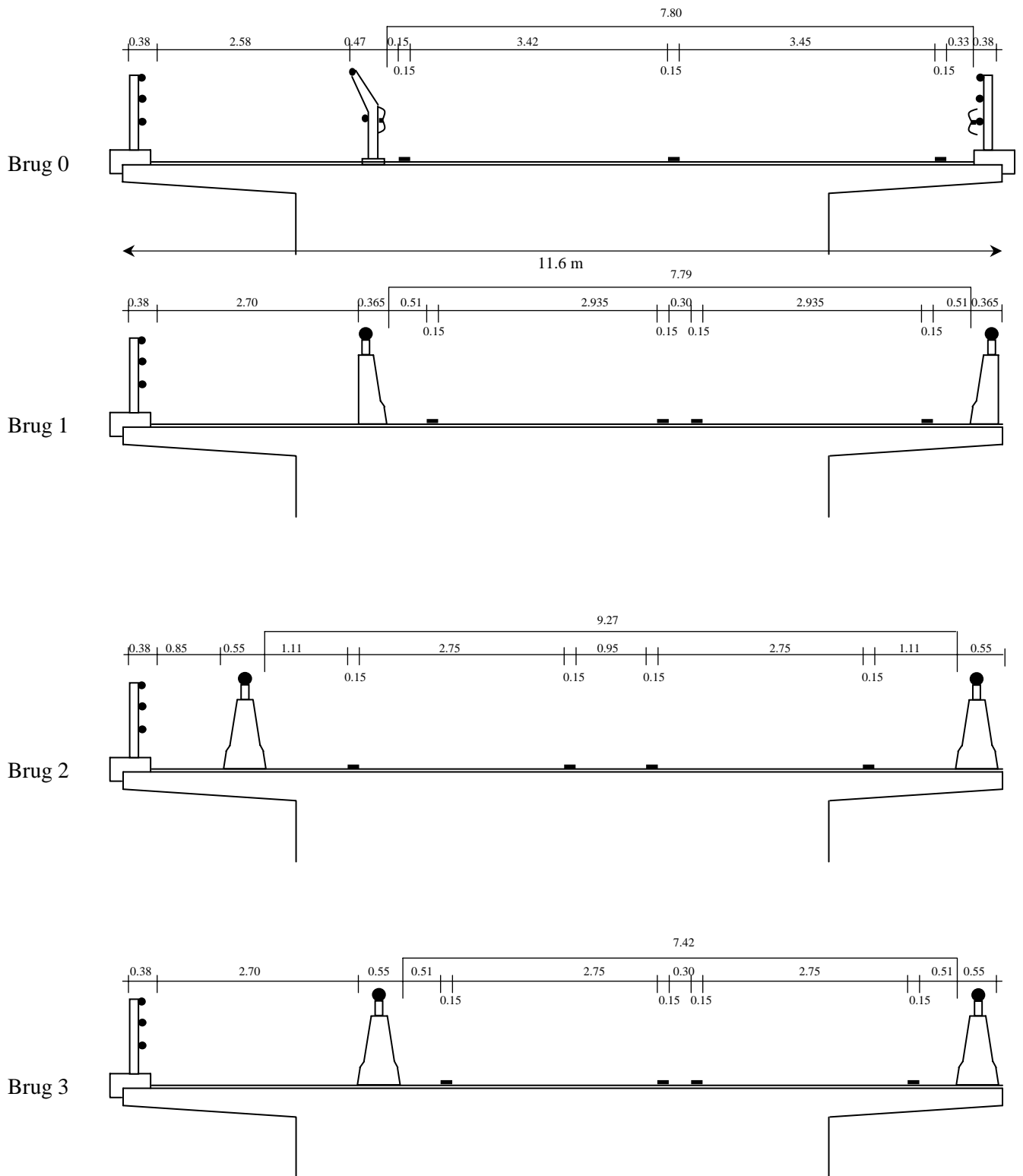
Uit de video-analyses is gebleken dat er ongeveer 1000 voertuigen per uur over de brug rijden, zodat er ca. 500 per uur tegenliggers zijn voor een simulatorbestuurder. Hiervan is ongeveer 12% vrachtwagens en bussen. Dit werd met enige toevalsvariatie in de computer ingebracht.

Er waren drie zijwind-varianten: geen zijwind, een constante zijwind en een variabele zijwind. De constante zijwind was gesimuleerd als een kracht op het stuurwiel die overeenkwam met een windsnelheid van 15 m/s (= 54 km/uur, 7 Beaufort) op het zwaartepunt van het simulatorvoertuigmodel. Dat betekent dat er in die conditie een constante compensatiekracht door de proefpersoon moest worden opgewekt. De variabele zijwind was een windkracht, random variërend van 10 tot 20 m/s (= 36 - 72 km/uur, 6 - 8 Beaufort), hetgeen voortdurend veranderende compensaties betekende. Omdat volstrekt onbekend is (daartoe zou een windtunnelberekening moeten worden gemaakt) in hoeverre de barriers voertuigen afschermen voor zijwind, werd in de simulatie de invloed van de barrier op de zijwind genegeerd - een worst-case scenario, in werkelijkheid zal de wind door de barrier afnemen, zeker voor personenauto's.

Verder werd zichthoogte gevarieerd; voor personenautobestuurders was deze 1.1 m, voor buschauffeurs 1.8 m (tussen de zithoogte van Mercedes-bussen (1.6 m) en DAF-bussen (2.0 m) in), en voor vrachtwagenchauffeurs 2.2 m. Andere aspecten van de bus en de vrachtwagen konden niet worden aangepast, zodat alleen de invloed van zichthoogte verschil uitmaakte in de drie niveaus van de variabele "voertuig".

Wat betreft de voertuigbreedte: het simulatormodel heeft feitelijk geen breedte. Voor personenauto's is daarom de breedte van de BMW zelf in de berekeningen van de laterale positie opgenomen, 1.70 m. Voor de condities van de vrachtwagens en de bussen is de gemiddelde vrachtwagen- en busbreedte uit de video-analyse genomen, 2.50m als basis voor de laterale positieberekeningen. Ook is de projectie van het voertuig op de weg vanuit het voertuigmidden gebeurd, zodat er voor de ervaring van het voertuig op de weg met een offset-correctie naar rechts rekening moet worden gehouden voor personenauto's ca. 20 cm, voor vrachtauto's en bussen ca. 40 cm.

Er is voor gekozen om de proefpersonen een rit over de bruggen van zuid naar noord te laten maken, dus over de oostelijke rijstrook. Hierbij zijn de bestuurders het dichtste bij de reling – bij de oude brugvariant – en het water; dit vormt het "worst case".



*Figuur 4.1: Dimensionering van de Zeelandbrug in het simulator-onderzoek. Van boven naar beneden: de oorspronkelijke brug (brug 0), en de proefbruggen 1, 2 en 3. De afmetingen van de lijnen en de ruimten ertussen zijn aangegeven in meters. De horizontale schaal is 1:76.9, de verticale schaal is niet van belang.*



*Figuur 4.2: bruggen en camerastandpunten. Op de oorspronkelijke brug: camerastandpunt voor personenauto (linksboven), bus (rechtsboven) en vrachtwagen (linksmidden). Rechtsmidden alternatief 1, linksonder alternatief 2, rechtsonder alternatief 3. Voor de precieze dimensioneringen zie figuur 4.1.*

### *Onderzoeksopzet*

Het onderzoek bevatte de volgende onafhankelijke variabelen:

- bekend-onbekend met de brug; hiervoor werden Zeeuwen en Groningers als proefpersoon geworven;
- type voertuig: er werden per bekendheidsgroep 10 personenauto-chauffeurs, 10 vrachtwagenchauffeurs en 10 buschauffeurs geworven;
- type brug: de vier reeds gepresenteerde brugdek-alternatieven;
- type snelheidslimiet (60, 80 10 km/uur en geen limiet)
- type zijwind (geen, vast, variabel)

Alle varianten van de laatste drie variabelen ( $4 \times 4 \times 3 = 48$  condities) werden aan elke proefpersoon aangeboden. om dit werkzaam te houden werden er 8 ritten over de vier bruggen gemaakt: elke brug werd twee keer bereden. Een brug van 6 km (dus iets langer dan in werkelijkheid) was verdeeld in twee snelheidszones, gemarkeerd met een portaal met matrixbord waarop de vervolgens geldende snelheid werd aangegeven. Elke snelheidszone was ingedeeld in drie windzones. Het één en ander werd in volgorde gewisseld gebalanceerd per proefpersoon, maar ook tussen proefpersonen aangeboden, om de situatievolgorde onvoorspelbaar te houden, en om volgorde-effecten te voorkomen. Op deze manier maakte een proefpersoon dus per brugrit  $3 \times 2 = 6$  condities van elk 1 km mee, voldoende om de relevante gegevens te verzamelen.

### *Gemeten gegevens*

In het simulator-onderzoek werden de volgende gegevens gemeten en opgenomen:

- Rijparameters (10 maal per seconde gemeten):
  - snelheid
  - laterale positie: positie van het midden voertuig ten opzichte van de buitenkant van de rechter zijlijn (hiermee werd de andere positie-maat berekend, de positie ten opzichte van de buitenkant van de linker rijstrooklijn, in de figuren aslijn genoemd. Dit is niet hetzelfde als het fysieke midden van de rijbaan, zoals wel in de video-analyses is gedaan)
  - hoek van het stuurwiel
- Zelfbeoordelingsgegevens:
  - Beoordelingsschaal Mentale Inspanning (voor elke conditie maar niet per zijwind-factor)
  - Rijkwaliteitschaal (éénmaal)
  - Oordelen over het onderzoek (éénmaal)

### *Onderzoeksverloop*

Eén proefpersonen per keer deed aan het onderzoek mee. Na ontvangst kreeg de proefpersoon een korte instructie, waarbij werd verteld dat de Zeelandbrug zal worden gerenoveerd, en dat daarvoor enkele ontwerpvarianten in de simulator worden onderzocht en worden vergeleken met de oude brug, wat betreft de invloed op rijgedrag. Voor bus- en vrachtwagenchauffeurs werd nadrukkelijk uitgelegd dat ze zich in de simulatie moesten inleven als ware het een bus of vrachtwagen. Er werd bij verteld dat het simulatorvoertuig qua weggedrag een personenauto zou blijven, maar dat het projectiestandpunt wel bus- c.q. vrachtwagenhoogte zou aannemen. Gedetailleerde vragen ("wat meten jullie nou precies, en waarvoor dan wel") werden globaal beantwoord en verder afgehouden met als argument dat we vooraf liefst zo weinig mogelijk verder vertellen om de proefpersoon niet ongewenst te beïnvloeden. Dit werd geaccepteerd. Er werd vervolgens een oefenrit gemaakt, waarbij een recht stuk "80-km/uur"-weg was gesimu-

leerd zo lang als de Zeelandbrug-simulatie, maar dan zonder relingen en dergelijke, en met een weiland-achtige wegomgeving, waarbij tegenliggers verschenen op dezelfde wijze als bij de Zeelandbrug-simulatie. Na de oefenrit, als bleek dat de proefpersoon het rijden in de simulator kon uitvoeren (wat in alle gevallen zo bleek te zijn), werden de 8 ritten over de bruggen uitgevoerd. De proefpersonen kregen hun reeks ritten in verschillende volgorden, en ook de volgorde van zijwind op de brugdelen was steeds verschillend. Hiermee konden effecten van volgorde op leren, voorspellen, vermoeidheid en dergelijke worden tegengegaan. Na elke rit werd de Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI zie bijlage 1) afgenomen voor elke snelheidslimiet op de net gereden brug. Nadat alle ritten waren voltooid werd de Rijkwaliteitschaal afgenomen (zie bijlage 2) gevolgd door een vragenlijst met enkele vragen over de persoon zelf, en naar zijn of haar mening over het onderzoek (zie bijlage 3). Tot slot werd een declaratieformulier ingevuld voor de f 25,- onderzoeksvergoeding en eventuele onkosten, waarna de proefpersoon vertrok. Een sessie duurde op deze manier ongeveer een uur en een kwartier. In de planning was met anderhalf uur rekening gehouden, zodat in de onderzoeksuitvoering tijdgebrek per proefpersoon niet voorkwam (dus geen negatieve effecten kon hebben).

### 4.3 Resultaten - Meninge

#### *Proefpersonen*

Er deden 60 mannelijke en vrouwelijke deelnemers mee, waarvan er twee het onderzoek niet volledig afronden door simulatormisselijkheid. Er waren 30 Groningers en 30 Zeeuwen. Deze waren ingedeeld in personenauto-, bus-, en vrachtwagenchauffeurs. Tabel 4.1 geeft enkele kentallen voor de onderzoekssteekproef. Omdat er te deelnemers waren om naast regio- en voertuigkijkhoogte ook een uitsplitsing te maken naar geslacht hebben alle resultaten verder betrekking op de gecombineerde gegevens van mannen en vrouwen. Op de kentallen is een MANOVA uitgevoerd. Deze gaf aan dat er significante verschillen zijn wat betreft voertuigtype op de rijervaring (km/jaar:  $F(2,53) = 22.20$ ;  $p < 0.001$ ): bus- en vrachtwagenchauffeurs hebben meer rijervaring dan personenauto-chauffeurs. Ook is er een verschil wat betreft regio op de rijervaring ( $F(1,53) = 15.12$ ;  $p < 0.00$ ), de Zeeuwen hebben meer rijervaring dan de Groningers. Voorts is de interactie significant ( $F(2,53) = 4.49$ ;  $p < 0.05$ ), wat betekent dat de verschillen in rijervaring in km/jaar voor de diverse soorten chauffeurs voor de ene regio (Zeeland) groter zijn dan voor de andere (Groningen). Op leeftijd en aantal jaren rijbewijs waren er geen significante verschillen. Dit betekent dat eventuele verschillen voor de variabelen regio en voertuig misschien door rijervaring mede kunnen worden verklaard. Voor voertuig is dit logisch: in het algemeen rijden de meeste personenauto-chauffeurs minder kilometers per jaar dan bus- of vrachtwagenchauffeurs. Maar voor regio kan dit betekenen dat aan bekendheid met de brug toeschrijfbare effecten vermengd zullen zijn met effecten van rijervaring, en dat nog eens extra voor de bus- en vrachtwagenchauffeurs.

Tabel 4.1: Kentallen voor de proefpersonen in het simulator-experiment. Gem = gemiddeld; rijbew. = rijbewijs; km/jaar = kilometer per jaar;

	gem leeftijd	gem jaar rijbew.	gem km/jaar
Groningers			
Personenauto	40	20	12600
Bus	40	22	54200
Vrachtwagen	44	25	41700
Zeeuwen			
Personenauto	46	24	19700
Bus	46	27	75000
Vrachtwagen	40	21	103300

## Vragen en oordelen

Tabel 4.2 toont de gemiddelde meningen-scores voor de diverse vragen op de vragenlijst. De vragen werden ingevuld door een kruisje te plaatsen op één uit vijf plaatsen tussen twee tegen-gestelde opinies: "erg leuk - erg vervelend", "erg prettig - erg onprettig", "erg nuttig - erg nutteloos", "erg opwindend - erg saai", en "erg natuurgetrouw - erg kunstmatig". Verder werden twee vragen gesteld over de nieuwe brug-ontwerpen: de barriërs en de belijning (beide "erg goed - erg slecht"). De aangegeven kruisjes werden omgezet in scores die konden reiken van +2 via +1, 0 en -1 tot -2. Over proefpersonen heen is er een gemiddelde berekend; een MANOVA toonde geen enkel effect van voertuigtype of regio, dus de gegevens zijn over deze variabelen gemiddeld.

Tabel 4.2: Gemiddelde scores over alle proefpersonen voor de antwoorden op de meningen-vragenlijst. De score kon lopen van +2 tot -2, met 0 als onbepaald midden. Gem = gemiddelde, sd = standaarddeviatie.

vraag	gem. score	sd score
leuk-vervelend	1.4	0.67
prettig-onaangenaam	1.1	0.82
nuttig-nutteloos	1.4	0.75
opwindend-saai	0.3	0.75
natuurgetrouw-kunstmatig	0.2	1.04
nieuwe barriër goed-slecht	0.5	1.12
nieuwe belijning goed-slecht	1.1	0.96

Het is duidelijk dat alle vragen gemiddeld aan de positieve kant van de schalen zijn beantwoord. Men vond het onderzoek leuk prettig en nuttig, en verder een beetje opwindend en noch natuurgetrouw noch kunstmatig. Wat betreft de barriërs vond men die neutraal, nauwelijks goed maar ook niet slecht. De belijning werd duidelijk goed ervaren. Het één en ander werd door een aantal proefpersonen toegelicht in de ruimte waar opmerkingen konden worden gemaakt. Deze worden in bijlage 4 woordelijk weergegeven.

De *rijkwaliteitschaal*, waarbij de proefpersonen moesten aangeven wat ze vonden van hun rijden in de simulator in vergelijking met normaal, werd gescoord door de afstand in mm van het kruisje tot het schaalmiddel ("normaal") te meten. Een negatief getal geeft "slechter dan normaal" aan, en een positief getal "beter dan normaal". Tabel 4.3 geeft het overzicht van de gemiddelden. Grosso modo vinden de meeste proefpersonen dat ze in de simulator slechter hebben gereden dan normaal. Er is geen regio-verschil, maar wel een voertuigverschil. Uit de tabel blijkt duidelijk dat de buschauffeurs zeggen juist beter in de simulator te hebben gereden dan normaal ( $F(2,53) = 3.67, p < 0.05$ ).

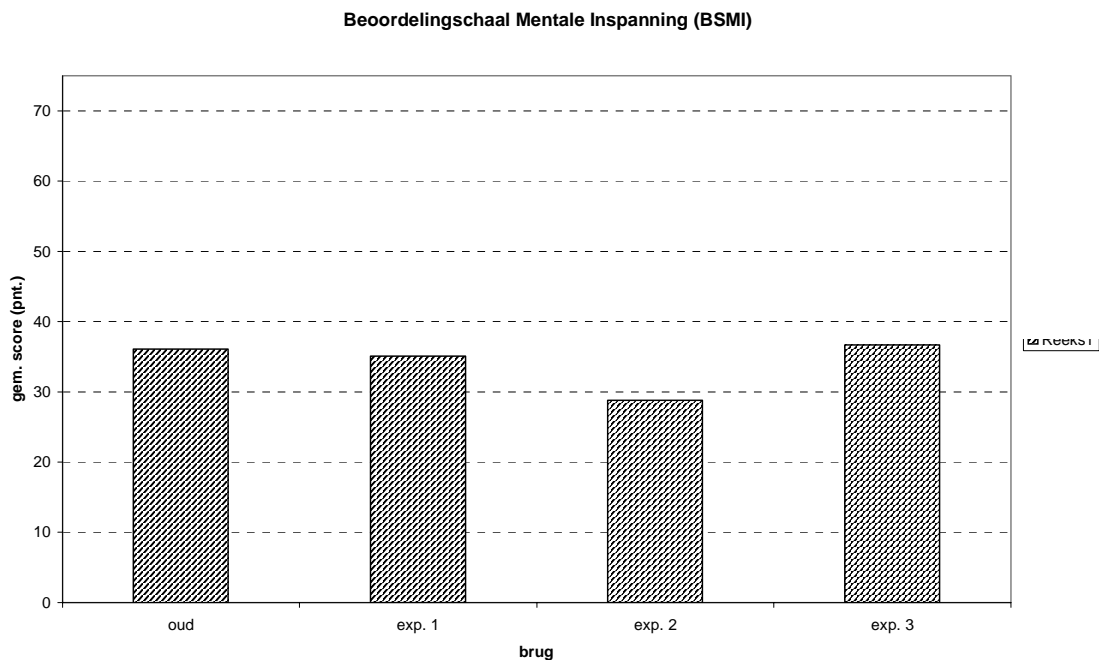
Tabel 4.3: Score op de rijkwaliteit-schaal per regio en voertuigtype. De score kan lopen van -100 tot +100. (Tussen haakjes de standaarddeviatie).

regio	groningen	zeeland
voertuig		
auto	-7.3 (22.65)	-11.5 (10.82)
bus	6.1 (22.61)	5.4 (17.89)
vrachtwagen	-7.0 (23.62)	-3.3 (7.16)

### Ervaren inspanning

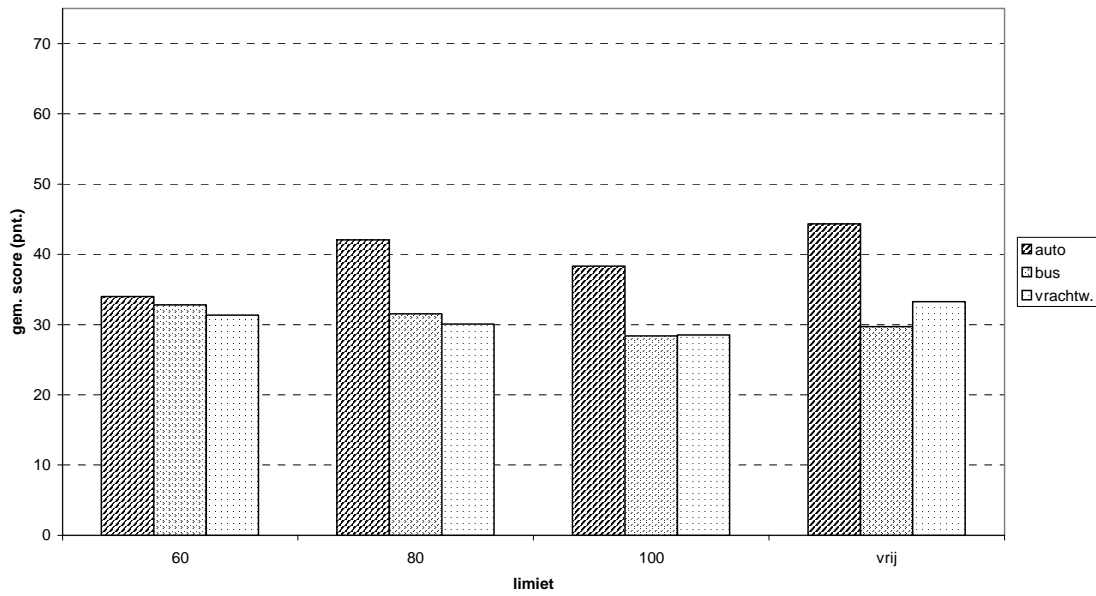
De Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI) werd gescoord na elke rit, door aan de proefpersonen te vragen hun ervaren inspanning met een waarde of een begrip te verwoorden. De BSMI-score werd met een herhaalde-metingen ANOVA getoetst. De volgende effecten waren significant: een hoofdeffect van brugtype ( $F(3,156) = 7.02, p < 0.001$ ), wat betekent dat de verschillende bruggen verschillende ervaren inspanningen opleverden; een hoofdeffect van snelheidslimiet ( $F(3,156) = 2.92, p < 0.05$ ), wat betekent dat de verschillende snelheidslimieten verschillende ervaren inspanning opleverden; en voorts twee interacties: het gecombineerde effect van regio en voertuig en snelheidslimiet ( $F(6, 156) = 2.57, p < 0.05$ ), en het gecombineerde effect van regio en voertuig en brug ( $F(9,468) = 1.97, p < 0.05$ ).

Het hoofdeffect van brug, en de twee interacties zijn afgebeeld in figuren. Figuur 4.3 toont dat de ervaren inspanning bij proefbrug 2 lager is dan bij de andere bruggen. Figuur 4.4a en 4.4b toont de combinatie van regio - Groningen en Zeeland, voertuig en snelheidslimiet. Bij de Groningers (figuur 4.4a) zijn het vooral de personenauto-chauffeurs die inspanning ervaren, en wel meer als de limietsnelheid hoger is. Bij de Zeeuwen (figuur 4.4b) zijn het juist de vrachtwagenchauffeurs die inspanning ervaren; ook hier is deze ervaren inspanning groter bij hogere snelheidslimieten. Figuur 4.5a en 4.5b toont de combinatie van regio, brug en snelheidslimiet. Voor de Groningers (figuur 4.5a) is er een lineaire toename van ervaren inspanning voor de oude brug en de proefbrug 3, terwijl er een minder duidelijk verband is bij de twee overige bruggen. Voor de Zeeuwen (figuur 4.5b) is er juist nauwelijks verschil in ervaren inspanning tussen de snelheidslimieten onderling bij de oude brug en bij proefbrug 2, en is er wat toename met snelheid voor proefbrug 1 en 3.

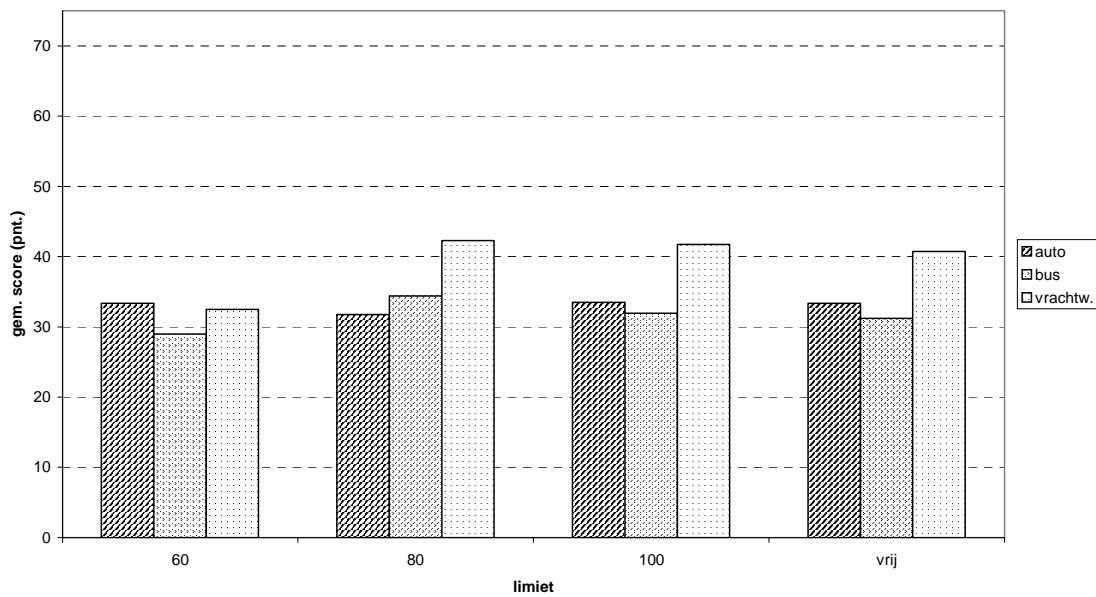


Figuur 4.3: Ervaren inspanning per proefbrug in de simulator. Oud = Oorspronkelijke brug, exp. 1 = proefbrug 1, exp. 2 = proefbrug 2, exp. 3 = proefbrug 3.

Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI) voor groningen

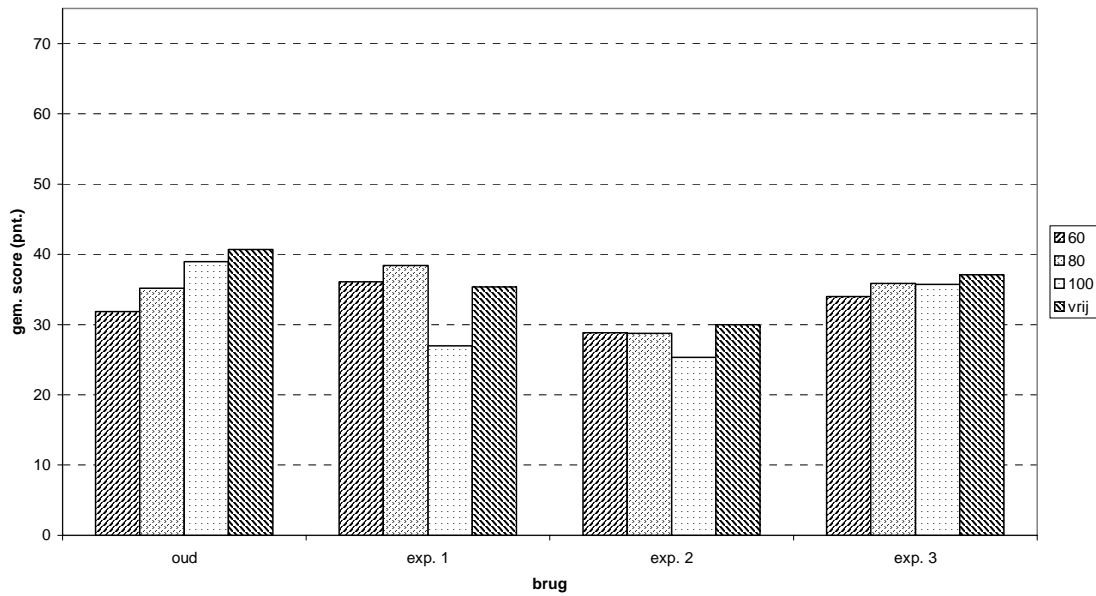


Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI) voor zeeuwen

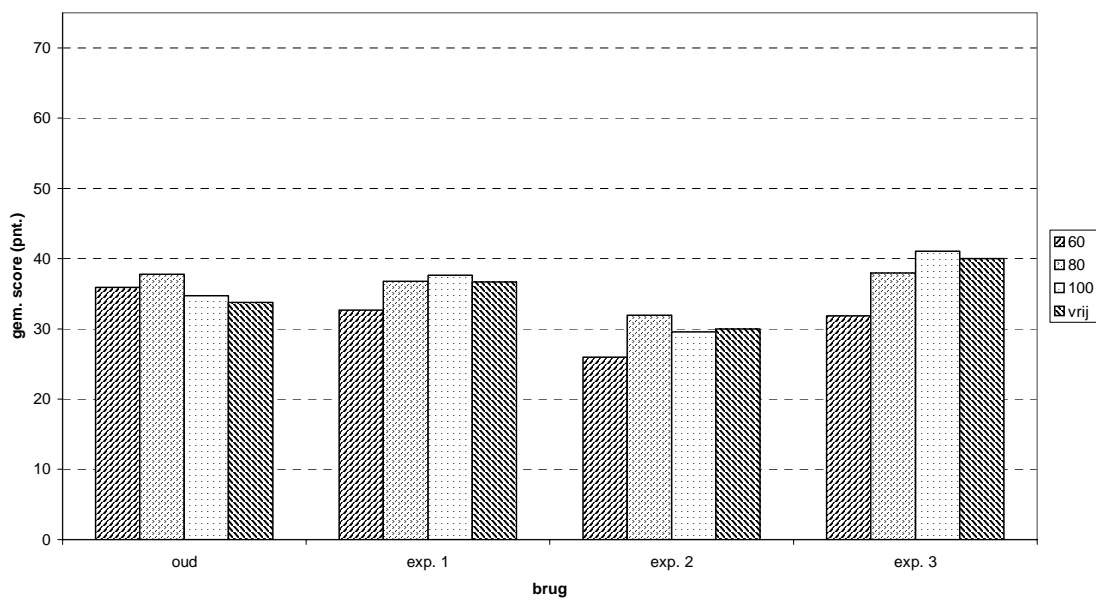


Figuur 4.4: Ervaren inspanning, uitgesplitst naar regio (figuur 4.4a, boven, voor de Groningers, en figuur 4.4b, beneden, voor de Zeeuwen), afzonderlijk voor snelheidslimiet (op de x-as) en voertuigsoort (personenauto, bus en vrachtwagen).

Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI) voor groningen



Beoordelingschaal Mentale Inspanning (BSMI) voor zeeuwen



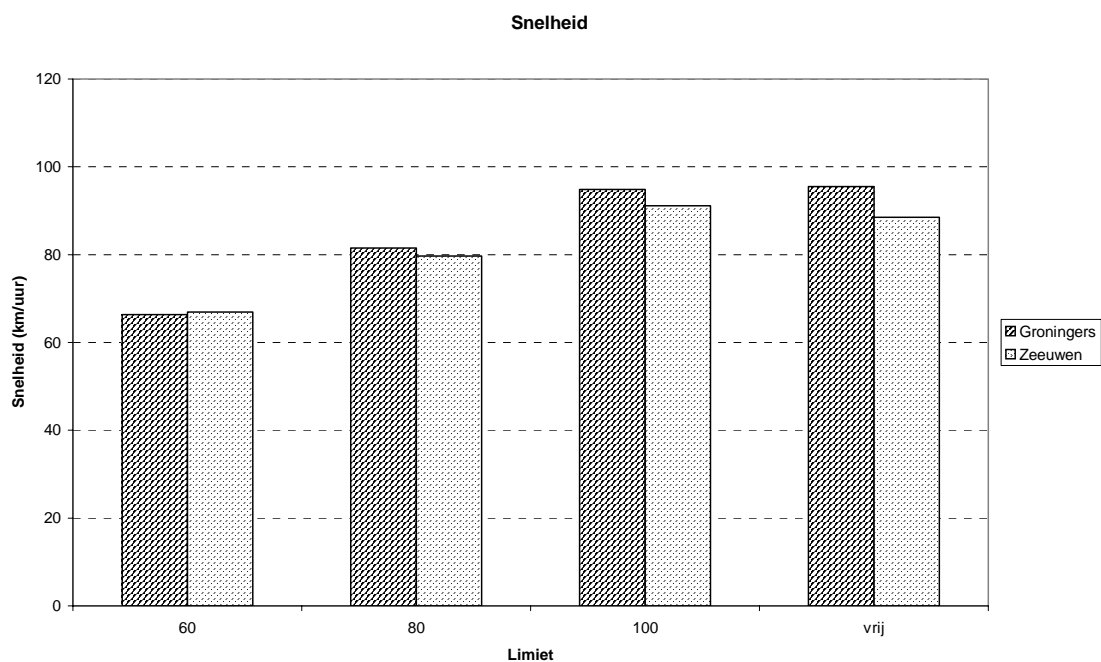
Figuur 4.5: Ervaren inspanning, uitgesplitst naar regio (figuur 4.5a, boven voor de Groninger, en figuur 4.5b, beneden voor de Zeeuwen), afzonderlijk voor brug (op de x-as) en snelheidslimiet. Oud = oorspronkelijke brug, exp. 1 = proefbrug 1, exp. 2 = proefbrug 2, exp. 3 = proefbrug 3.

#### 4.4 Resultaten - Rijparameters

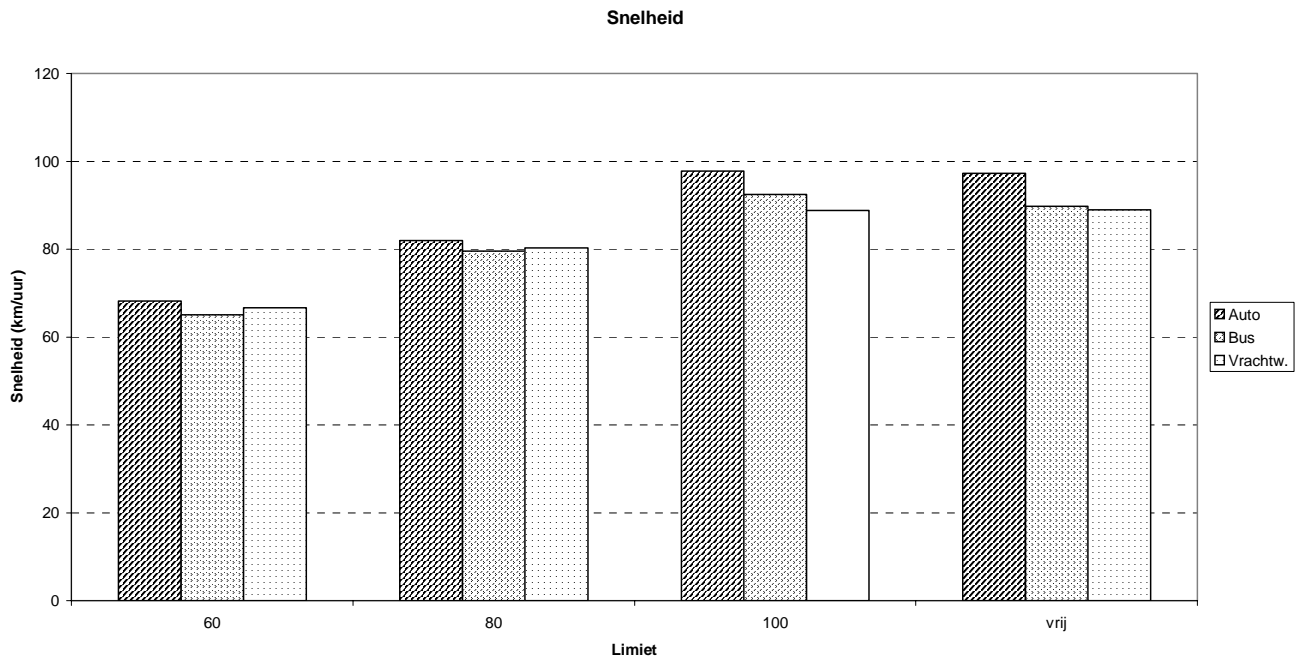
De volgende paragrafen behandelen de gegevens van het rijgedrag in de simulator, de rijparameters snelheid, laterale positie ten opzichte van de wegas en de kantstreep, de spreiding in de laterale positie en de spreiding in de stuurhoek. Beide laatste maten zijn indicaties voor het slingergedrag.

##### *Rijparameters – snelheid*

Zoals te verwachten was, had het opleggen van een snelheidslimiet een effect op de gereden snelheid ( $F(3,153) = 258.16, p < 0.001$ ): hoe hoger de limiet, hoe hoger de gereden snelheid, behalve voor 100 km/uur en geen limiet. Ook bleek er een hoofdeffect te zijn voor regio ( $F(1,51) = 5.58, p < 0.05$ ): Groningers bleken iets sneller te rijden dan Zeeuwen. Er was ook een hoofdeffect van voertuig ( $F(2,51) = 6.31, p < 0.01$ ): personenauto's reden sneller dan bussen en vrachtwagens, die onderling niet veel verschilden. Er waren bovendien twee interacties tussen deze variabelen significant: 1) regio en limiet ( $F(3,153) = 3.72, p < 0.5$ ), afgebeeld in figuur 4.6: Groningers rijden met name sneller dan Zeeuwen naarmate de limiet hoger ligt, en 2) voertuig en limiet ( $F(6,153) = 2.18, p < 0.05$ ), afgebeeld in figuur 4.7: personenauto's rijden vooral sneller dan vrachtwagens en bussen naarmate de limiet hoger ligt. In de figuren is te zien dat gemiddeld de snelheden bij de limiet van 60 km/uur er iets boven ligt, bij de limiet 80 km/uur redelijk op de limiet, en er bij 100 km/uur en zonder limiet onder blijft. Voor vrachtwagens en bussen, die eigenlijk een impliciete limiet hebben van 80 km/uur is te zien dat zij bij 100 km/uur en geen limiet toch boven deze impliciete limiet uitkomen. Er waren bus- en vrachtwagenchauffeurs die zich duidelijk als een buschauffeur gedroegen door bij de uitvoering van het onderzoek op te merken dat ze dus niet harder zouden rijden dan 80 km/uur. Enigszins tegen de verwachting in bleek de factor Zijwind geen significant effect te hebben op de snelheid – men reed ondanks rukwinden toch in ongeveer hetzelfde tempo verder. Ook was er geen hoofdeffect van de factor Brug.



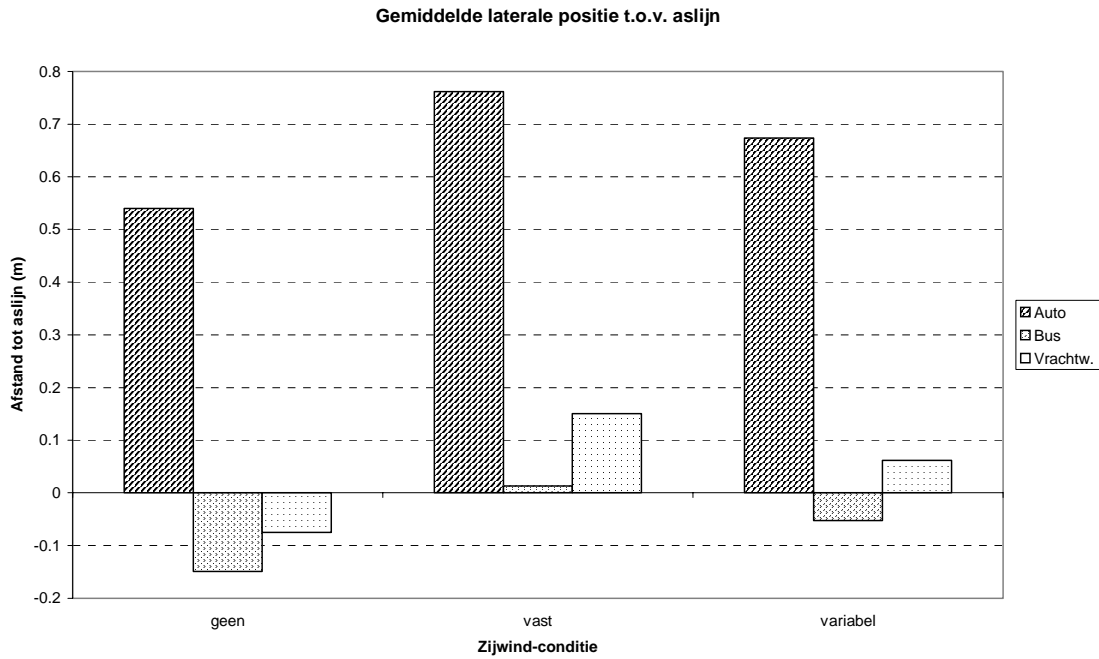
Figuur 4.6: Gereden snelheden, uitgesplitst naar limiet (x-as) en regio (Groningers en Zeeuwen).



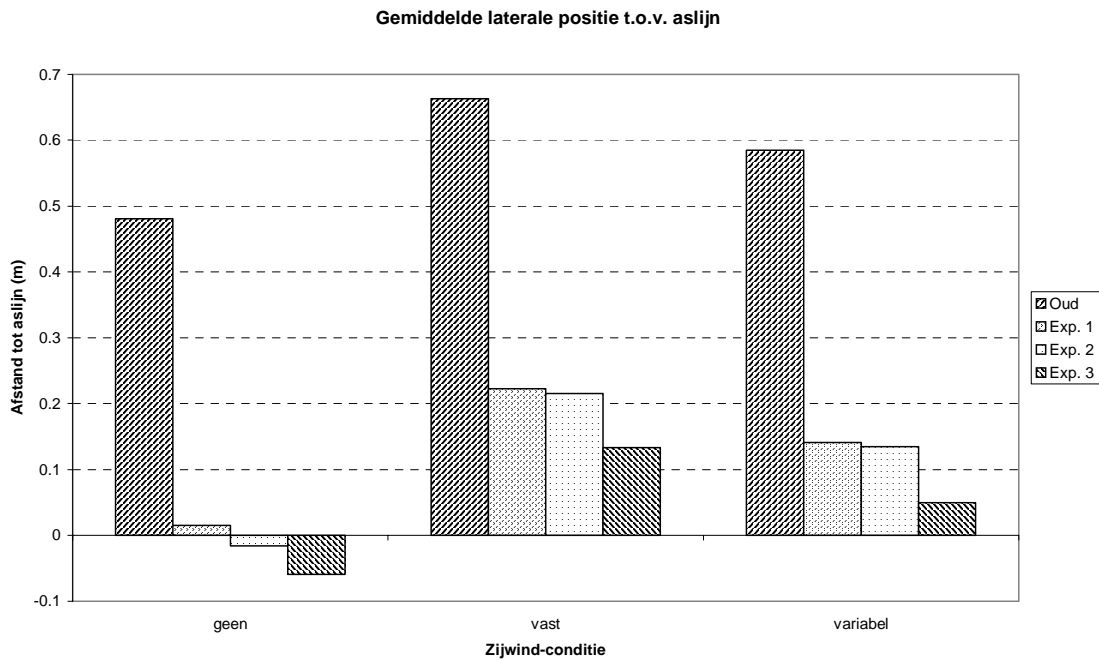
Figuur 4.7: Gereden snelheden, uitgesplitst naar limiet (x-as) en type voertuig (personenauto, bussen en vrachtwagens).

#### Rijparameters – laterale positie ten opzichte van wegasmarkering

Er waren duidelijke effecten van de diverse omstandigheden op de laterale positie ten opzichte van de buitenkant van de linker zijlijn, hier aslijn genoemd. NB: dit is niet hetzelfde als de afstand tot de fysieke weg. In de overzichtsparagraaf zal het een en ander met elkaar in verband worden gebracht. Voertuigtype geeft een hoofdeffect ( $F(2,51) = 112.43, p < 0.001$ ); personenauto's blijven veel meer rechts ten opzichte van de asbelijning dan vrachtwagens en bussen. Dit kon verwacht worden vanwege de grote breedte die voor vrachtwagens en bussen in de berekening is gebruikt. Brugtype toont het tweede hoofdeffect ( $F(3,153) = 601.81, p < 0.001$ ): bestuurders blijven vooral op de oude brug veel meer aan de rechterkant van de asbelijning rijden dan op de proefbruggen; met name bij proefbrug 3 rijden ze vlak langs de wegasmarkering. Zijwind vertoont het derde hoofdeffect ( $F(2,102) = 383.07, p < 0.001$ ): zonder zijwind rijden de bestuurders vlak langs de wegasmarkering, maar met zijwind, en dan vooral een vaste zijwind, blijven ze er wat verder van vandaan. Voorts zijn er twee interacties significant: 1) de effecten van voertuig en zijwind ( $F(4,102) = 3.90, p < 0.01$ ); personenauto's houden altijd een flinke afstand tot de wegasmarkering, die bij zijwind groter is dan zonder zijwind. Vrachtwagens en bussen rijden echter zonder zijwind op of zelfs over de wegasmarkering; met vaste zijwind blijven ze er net rechts van, met variabele zijwind komen bussen er weer links van (zie figuur 4.8); 2) de effecten van brug en zijwind ( $F(6,306) = 3.15, p < 0.005$ ): op de simulatie van de oude brug zonder zijwind blijven bestuurders ruimschoots aan de rechterkant van de wegasmarkering; op de proefbruggen zonder zijwind rijden ze op of zelfs links van de wegasmarkering (proefbrug 3). Met zijwind rijden ze echter overal rechts van de wegasmarkering, met een vaste zijwind zelfs iets verder er vandaan dan met een variabele zijwind (zie figuur 4.9).



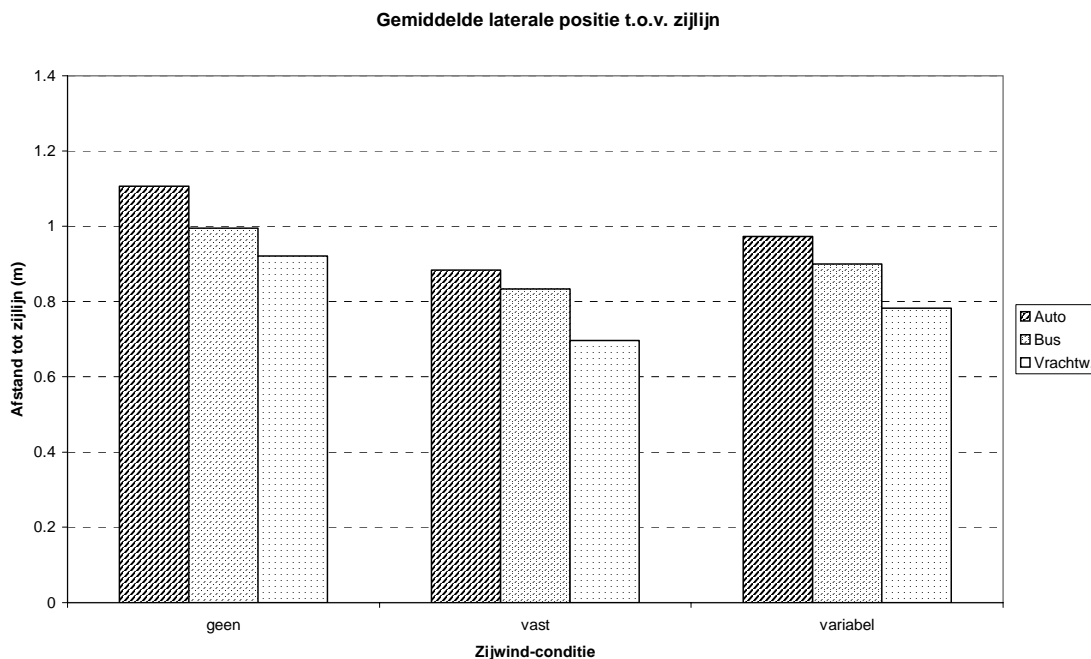
*Figuur 4.8: Gemiddelde laterale positie ten opzichte van de wegasmkering, uitgesplitst voor zijwind-conditie (x-as, geen, vast en variabel; zie tekst voor precieze on=mschrijvingen), en voertuig (personenauto's, bussen en vrachtwagens)*



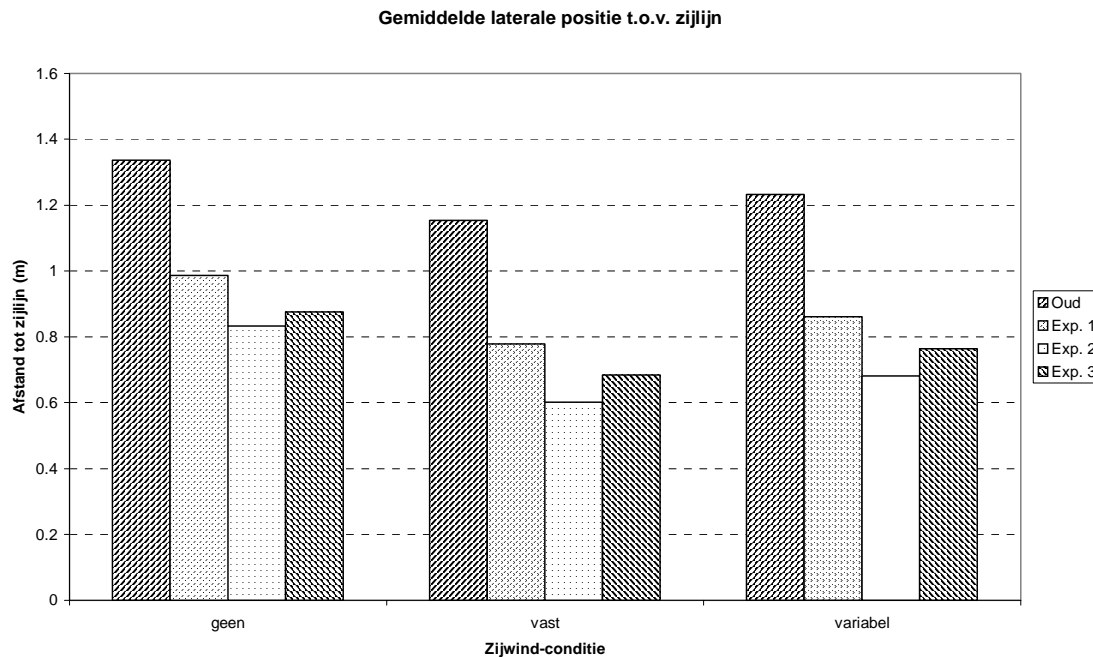
*Figuur 4.9: Gemiddelde laterale positie ten opzichte van de asmarkering, uitgesplitst voor zijwind-conditie (x-as, geen, vast en variabel; zie tekst voor precieze on=mschrijvingen), en brug (Oud = oorspronkelijke brug, exp. 1 = proefbrug 1, exp. 2 = proefbrug 2, exp. 3 = proefbrug 3).*

### Rijparameters – laterale positie ten opzichte van wegkantmarkering

Voor de laterale positie ten opzichte van de buitenkant van de rechter zijlijn blijken er ook een aantal effecten significant te zijn; de resultaten op deze maat horen in feite een spiegelbeeld te vormen van de resultaten van de positie ten opzichte van de wegasmarkering. De getallen en grafieken geven de afstand van de (fictieve) rechterzijkant van de simulatorauto (bus/vrachtwagen) tot aan de buitenkant van de rechter kantlijn. Er is een hoofdeffect van voertuigtype ( $F(2,51) = 6.87, p < 0.005$ ): vrachtwagens en bussen rijden dichterbij de rechterkantstreek dan personenauto's. Dat is te verwachten omdat vrachtwagens en bussen breder zijn. Er is echter ook een duidelijk (klein) verschil tussen vrachtwagens en bussen onderling, terwijl in de berekening voor positie van deze voertuigtypen dezelfde breedte is aangehouden, namelijk 2.5 m. Er is een hoofdeffect van brugtype ( $F(3,153) = 608.85, p < 0.001$ ): op de diverse bruggen wordt steeds een verschillende afstand aangehouden tot de rechter wegkantmarkering. De afstand tot de kantmarkering neemt af in volgorde respectievelijk van de oude brug, proefbrug 1, proefbrug 3 en proefbrug 2. Wordt er gekeken naar de afstand tot de barrier, dan is de volgorde proefbrug 2, proefbrug 1 en proefbrug 3, want bij brug 2 is er tussen de kantmarkering en de barrier meer ruimte dan bij proefbruggen 1 en 3. Er is een hoofdeffect voor zijwind ( $F(2,102) = 383.07, p < 0.001$ ): zonder zijwind houdt men meer afstand tot de kantmarkering dan met zijwind. Voor de variabele zijwind is de afstand echter iets groter dan voor de vaste zijwind: daarbij rijdt men het dichtst bij de kantlijn. Twee interacties zijn significant: 1) voertuig en zijwind ( $F(4,102) = 3.90, p < 0.01$ ), deze is afgebeeld in figuur 4.10. Naast de al besproken hoofdeffecten van zijwind en van voertuig is duidelijk te zien dat de afstand tot de kantlijn voor vrachtwagens in de vaste zijwindconditie verder is afgenomen dan die voor bussen en personenauto's, en dat dit verschil in de variabele zijwindconditie weer minder groot is. 2) brug en zijwind ( $F(6,306) = 3.15, p < 0.05$ ), getekend in figuur 4.11, waarin goed zichtbaar is dat de onderlinge verschillen in afstand tot de kantstreek bij de diverse bruggen voor elke zijwindconditie ietwat anders zijn. Met name bij proefbrug 2 is de afstand bij de vaste zijwind ca 20 cm. kleiner dan bij geen zijwind, een verschil dat bij variabele zijwind tot ca 15 cm vermindert. Desondanks houden alle voertuigen op alle bruggen onder alle condities gemiddeld een positieve afstand tot de kantlijn. Er zijn geen effecten van regio of snelheidslimiet.



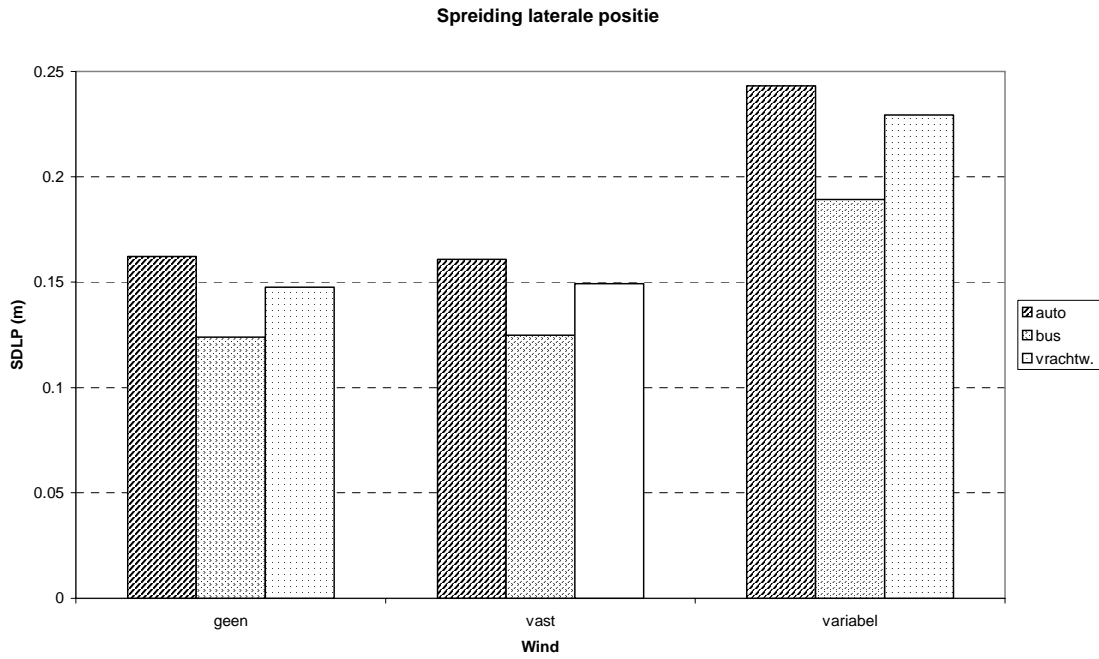
Figuur 4.10: Gemiddelde laterale positie ten opzichte van de rechter zijlijn, uitgesplitst voor zijwind-conditie (x-as: geen, vast en variabel) en voertuig (personenauto's, bussen en vrachtwagens).



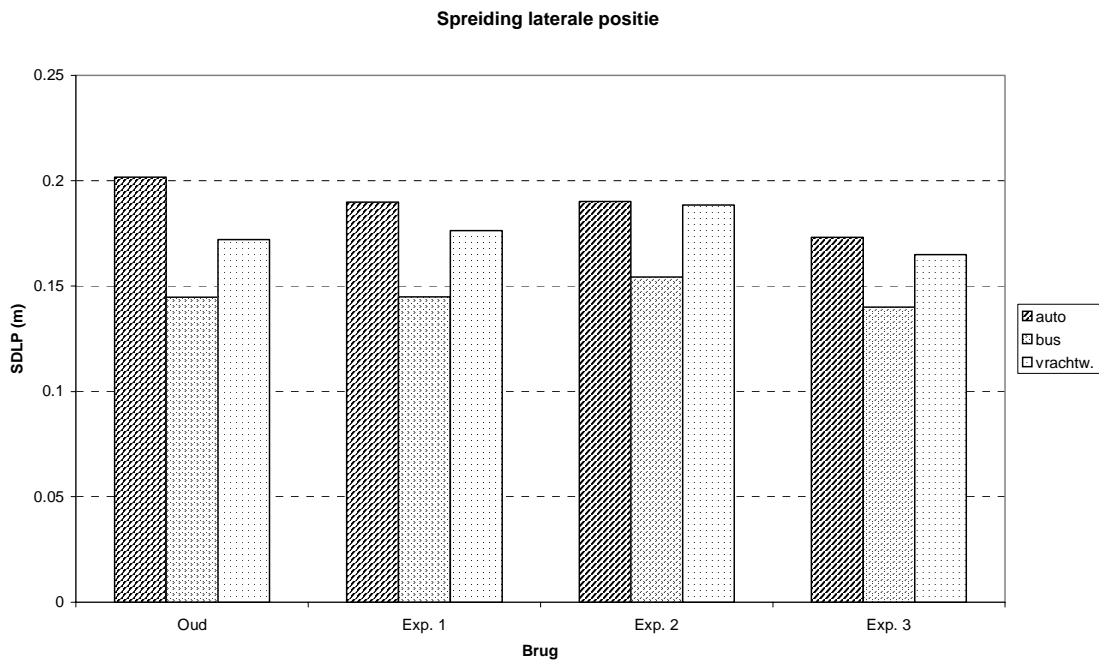
*Figuur 4.11: Gemiddelde laterale positie ten opzichte van de rechterzijlijn, uitgesplitst voor zijwind-conditie (x-as, geen, vast en variabel; zie tekst voor precieze omschrijvingen), en brug (Oud = oorspronkelijke brug, Exp. 1 = proefbrug 1, Exp. 2 = proefbrug 2, Exp. 3 = proefbrug 3).*

#### *Rijparameters – spreiding van de laterale positie (SDLP)*

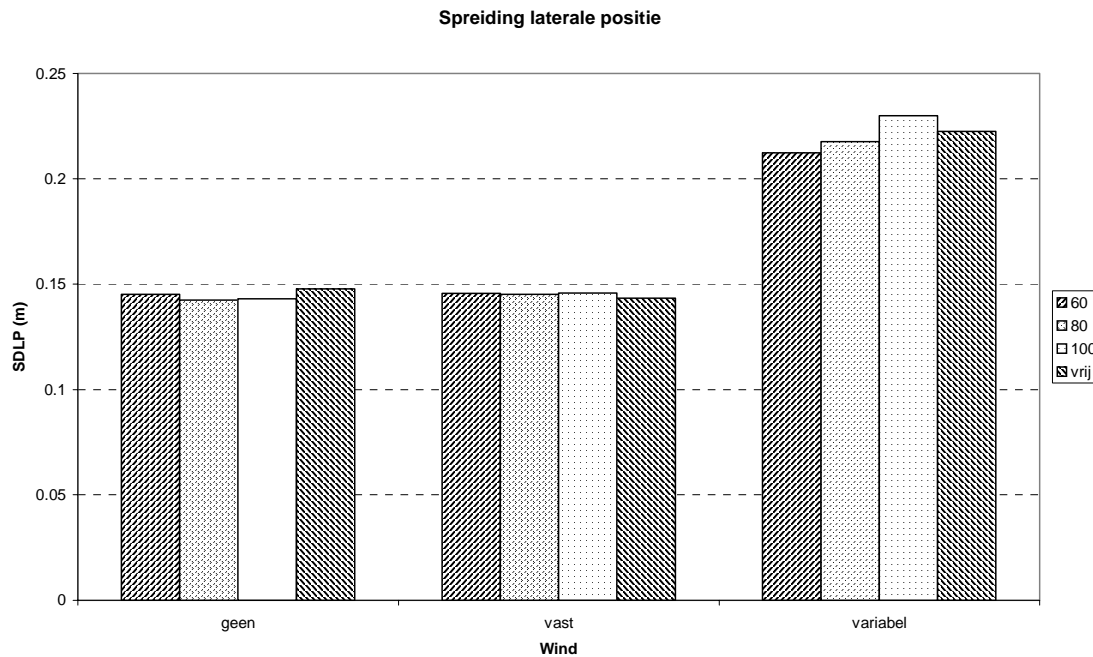
Deze maat is samen met de spreiding van de stuurhoek, een belangrijke indicatie voor het slingergedrag. Daarnaast kan met de maat samen met de gemiddelde positie de verwachte overschrijdingsproportie van de belijning of de fysieke middenas worden berekend: de proportie (het percentage) van de tijd dat voertuigen de lijn of het midden van de rijbaan overschrijden. Dit laatste zal in de paragraaf “overzicht” uitgebreid aan bod komen. Los van dit alles geldt: hoe groter de spreiding van de laterale positie (SDLP), des te meer wegbreedte heeft een bestuurder nodig gehad bij het koers houden. Er zijn enkele hoofdeffecten significant. Verschillende voertuigen hebben een verschillende SDLP ( $F(2,51) = 16.00, p < 0.001$ ): auto's hebben de grootste SDLP, gevolgd door vrachtwagens en dan bussen. Er is een regioverschil ( $F(1,51) = 8.27, p < 0.01$ ): Groningers hebben een grotere SDLP dan Zeeuwen. De SDLP per brug is verschillend ( $F(3,153) = 15.51, p < 0.001$ ): op de oude brug is de SDLP het grootst, en op proefbrug 3 het kleinst. Er is een hoofdeffect van limiet ( $F(3,153) = 2.83, p < 0.05$ ): bij een limiet van 60 km/uur is de spreiding het kleinst, bij 100 km/uur het grootst. Deze verschillen zijn echter minimaal. Er is een – te verwachten – hoofdeffect van zijwind ( $F(2,102) = 629.79, p < 0.001$ ): de SDLP is bij geen en bij vaste zijwind aanzienlijk kleiner dan bij variabele zijwind. Van drie interacties zijn figuren gemaakt: 1) voertuig en zijwind ( $F(4,102) = 3.25, p < 0.05$ ): figuur 4.12 toont duidelijk hoe bij variabele zijwind de SDLP van personenauto's extra veel toeneemt, maar ook die van vrachtwagens, ten opzichte van de SDLP bij geen zijwind of bij een vaste zijwind. 2) voertuig en brug ( $F(6,153) = 3.88, p < 0.001$ ): figuur 4.13 toont dat de SDLP van personenauto's afneemt van de oude brug, via proefbrug 1, 2 naar proefbrug 3. Bij bussen is de SDLP juist bij proefbrug 3 het laagst en bij proefbrug 2 het hoogst. Bij vrachtwagens is eveneens de minimale SDLP op proefbrug 3, terwijl de maximale SDLP op proefbrug 2 ligt, maar de verschillen zijn anders dan bij bussen. 3) zijwind en snelheidslimiet geeft ook een significante interactie ( $F(6,306) = 2.88, p < 0.01$ ): figuur 4.14 toont dit effect. Bij geen en bij vaste zijwind is er nagenoeg geen verschil in SDLP tussen de diverse limieten, maar bij variabele zijwind neemt de SDLP toe met de limiet, uitgezonderd de situatie zonder limiet, die een iets lagere SDLP heeft dan de situatie met een limiet van 100 km/uur.



*Figuur 4.12: Standaarddeviatie van de laterale positie, uitgesplitst naar zijwind-conditie (x-as: geen, vast, en variabel) en voertuig (personenauto's, bussen en vrachtwagens).*



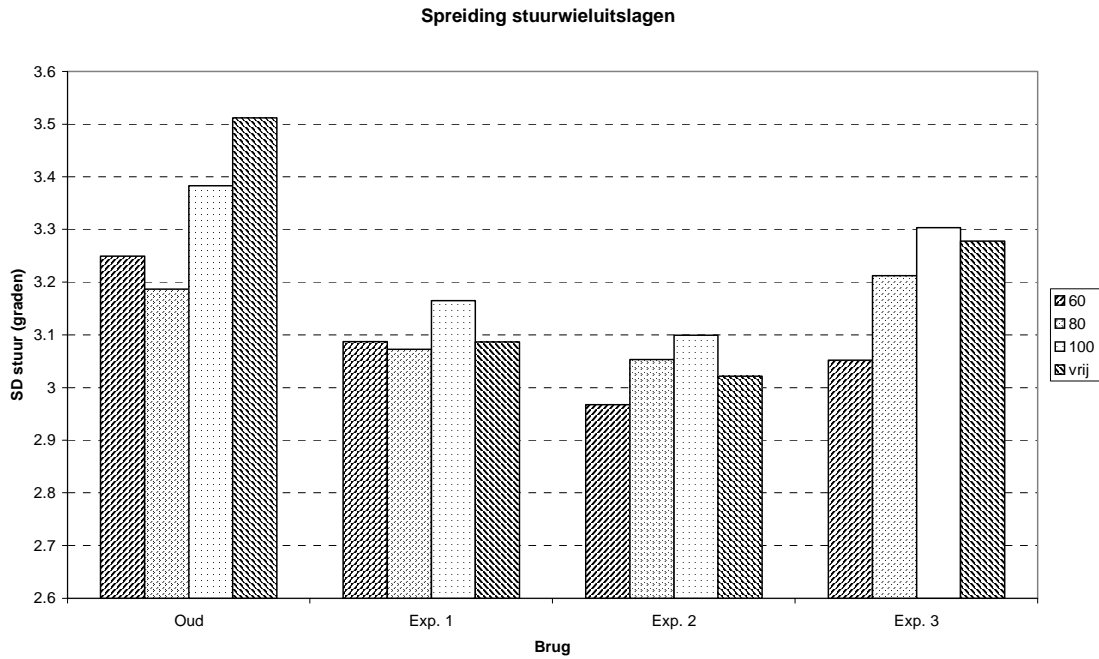
*Figuur 4.13: Standaarddeviatie laterale positie, uitgesplitst voor brug (x-as: Oud = oorspronkelijke brug, Exp. 1 = proefbrug 1, Exp. 2 = proefbrug 2, Exp. 3 = proefbrug 3) en voertuig (personenauto's, bussen en vrachtwagens).*



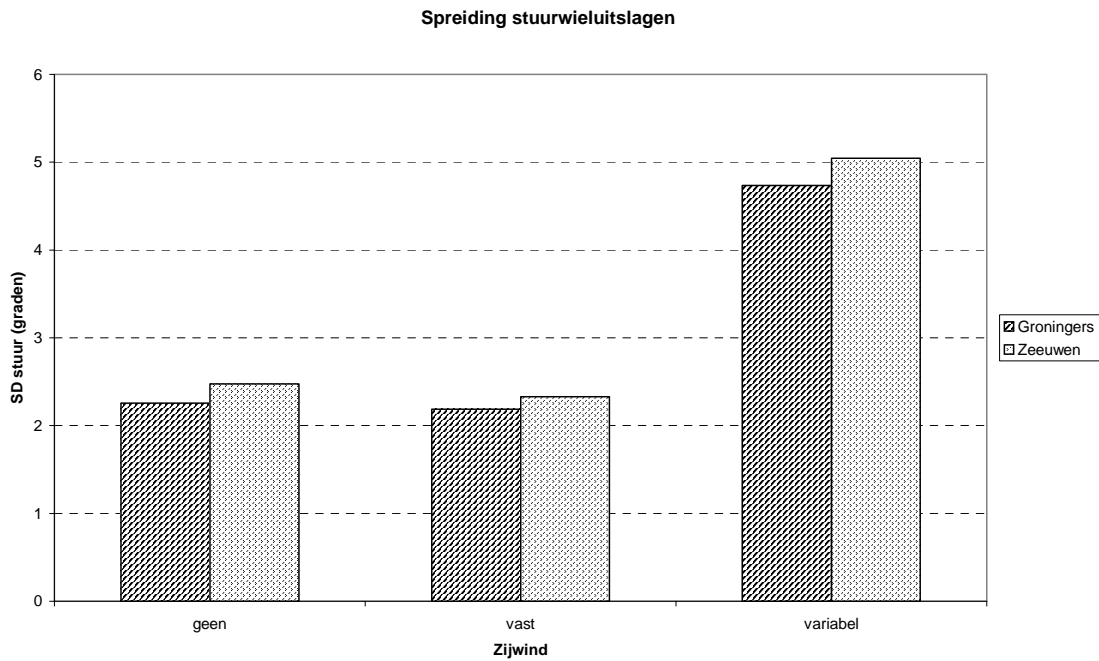
Figuur 4.14: Standaarddeviatie laterale positie, uitgesplitst voor zijwind-conditie (x-as: geen, vast en variabel), en snelheidslimiet (resp. 60, 80 en 100 km/uur en geen limiet).

#### Rijparameters – spreiding van de stuurhoek (SDST)

Tot slot van de hier te bespreken effecten op de rijparameters de spreiding in de stuurhoek (SDST). Een grote spreiding van de stuurhoek geeft aan dat proefpersonen meer en grotere stuuruitslagen hebben gemaakt tijdens het rijden, een indicatie voor de taakuitvoering. De resultante van dit stuurgedrag is in feite weerspiegeld in de uiteindelijke spreiding van de laterale positie. Er is een hoofdeffect van brug ( $F(3, 153) = 18.84, p < 0.001$ ): de hoogste SDST is te vinden bij de oude brug, gevolgd door proefbrug 3, 1, en tot slot 2. Het hoofdeffect van snelheidslimiet ( $F(3, 153) = 10.89, p < 0.001$ ) toont dat de SDST toeneemt naarmate de snelheidslimiet toeneemt. Tot slot is er het - verwachte en zeer grote – hoofdeffect van zijwind ( $F(2, 102) = 2677.95, p < 0.001$ ): de spreiding van de stuurwieluitslagen is bij variabele zijwind meer dan het dubbele dan bij een vaste zijwind of geen zijwind. Er zijn voorts twee interacties significant: 1) brug en snelheidslimiet ( $F(9, 459) = 2.38, p < 0.05$ ), getoond in figuur 4.15, waarin te zien is dat bij de oude brug de SDST-verschillen tussen de limieten groter zijn dan bij de proefbruggen, en dat hierbij met name de situatie zonder limiet een grote SDST heeft. Bij de proefbruggen vertonen proefbrug 2 en 3 een vergelijkbaar patroon van SDST's mar op een ander niveau en met andere verschil-grootten. Proefbrug 1 toont een patroon van SDST's waar de minst grote verschillen tussen de diverse limieten te zien zijn, alleen de 10 km/uur limiet springt er hierbij uit. 2) zijwind en regio ( $F(2, 102) = 3.44, p < 0.05$ ) wordt getoond in figuur 4.16. Te zien is dat Groningers een iets kleinere spreiding hebben in de stuurwieluitslagen dan Zeeuwen, waarbij het verschil bij de variabele zijwind wat groter wordt. Of deze interactie relevant is, kan worden betwijfeld.



*Figuur 4.15: Standaarddeviatie van de stuurwieluitslagen, uitgesplitst voor brug (x-as: Oud = oorspronkelijke brug, Exp. 1 = proefbrug 1, Exp. 2 = proefbrug 2, Exp. 3 = proefbrug 3) en snelheidslimiet (resp. 60, 80 en 100 km/uur en geen limiet).*



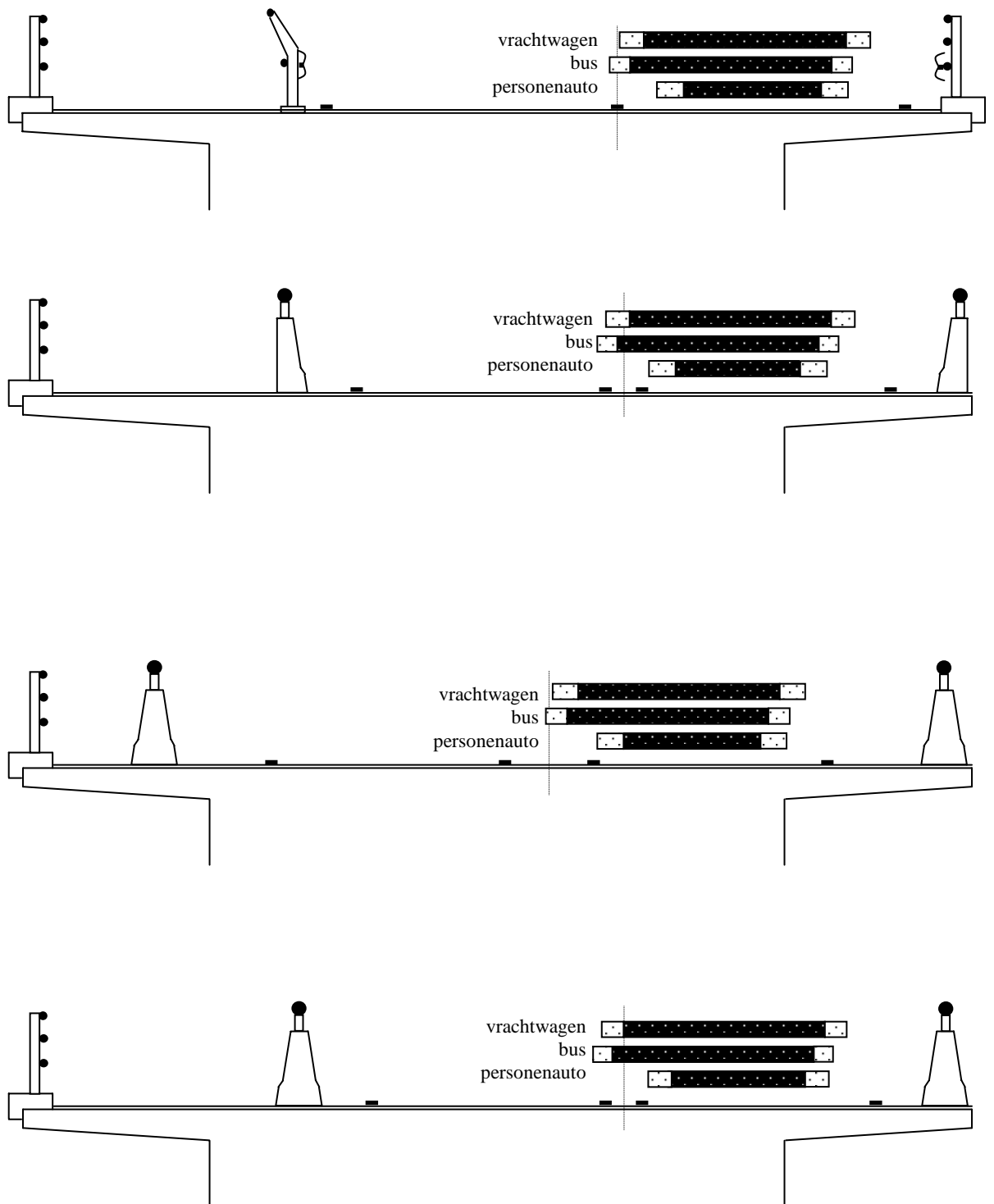
*Figuur 4.16: Standaarddeviatie van de stuurwieluitslagen, uitgesplitst naar zijwind-conditie (x-as: geen, vast en variabel) en regio (Groningers en Zeeuwen).*

## 4.5 Resultaten - Overzicht

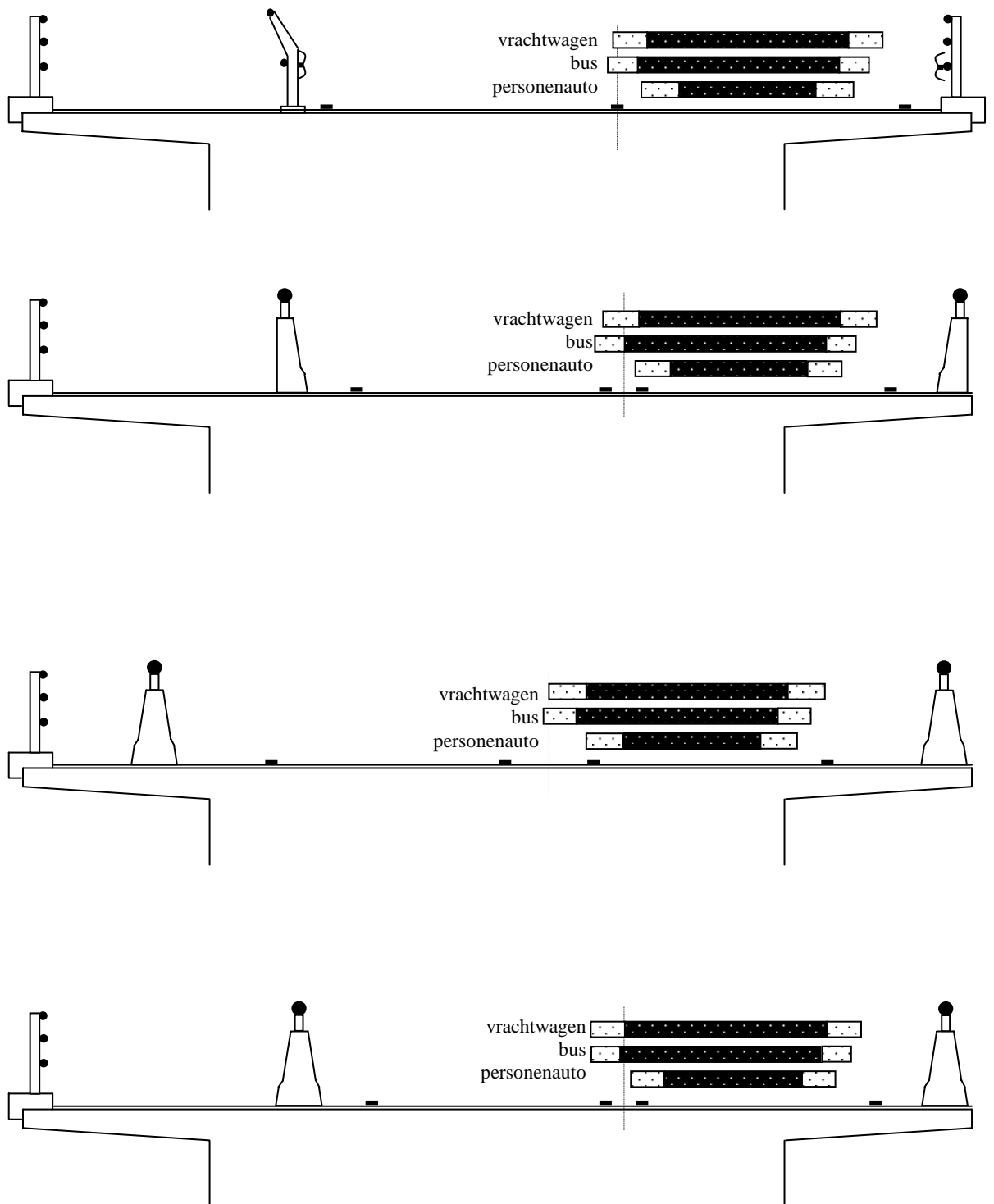
In de figuren 4.17 en 4.18 is een overzicht gemaakt van hoe de diverse voertuigen rijden op de verschillende brugtypen, voor geen en voor variabele zijwind. De gegevens voor regio en voor snelheidslimiet zijn bij elkaar gevoegd. Van belang is met name de positie ten opzichte van de weg en de spreiding daaromheen. Een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de spreiding wordt door 1.96 maal de standaarddeviatie links en rechts van het gemiddelde af te tekenen: binnen deze grenzen zullen zich, op basis van de gegevens van dit onderzoek, 95% van de voertuigen bevinden, c.q. een voertuig 95% van de tijd rijden. Figuur 4.17 geeft deze intervallen voor de situatie zonder zijwind, figuur 4.18 voor de situatie met variabele zijwind. Voor elke brug zijn steeds de resultaten van vrachtwagen-, bus- en personenauto-chauffeurs afgebeeld, van boven naar beneden in die volgorde. Uit deze figuren blijkt dat de personenauto's op alle brugalternatieven voor 95% van de tijd binnen of hoogstens op (bij variabele zijwind) de markeringen rijden, dus de fysieke rijbaan niet overschrijden. Omdat de simulator helemaal is ingericht als personenautosimulator is dit een hard gegeven. Als de simulator werd bereden door vrachtwagen- of buschauffeurs, vanuit het perspectief van een vrachtauto en een bus, dan blijkt dat er in een aantal gevallen de middenmarkering en zelfs het fysieke midden van de rijbaan wordt overschreden, zelfs als er geen zijwind is. Bij zijwind blijkt dat met name bussen bij proefbrug 3, maar ook bij proefbrug 2 zo goed als alle tijd op of links van de wegmarkering rijden, en zelfs vaak over de wegmarkering van de andere rijstrook heen komen.

Deze bevindingen dienen echter te worden genuanceerd. Er zijn een aantal factoren in het onderzoek die maken dat verwacht kan worden dat in de werkelijke situatie vrachtwagens en bussen meer naar rechts zullen rijden.

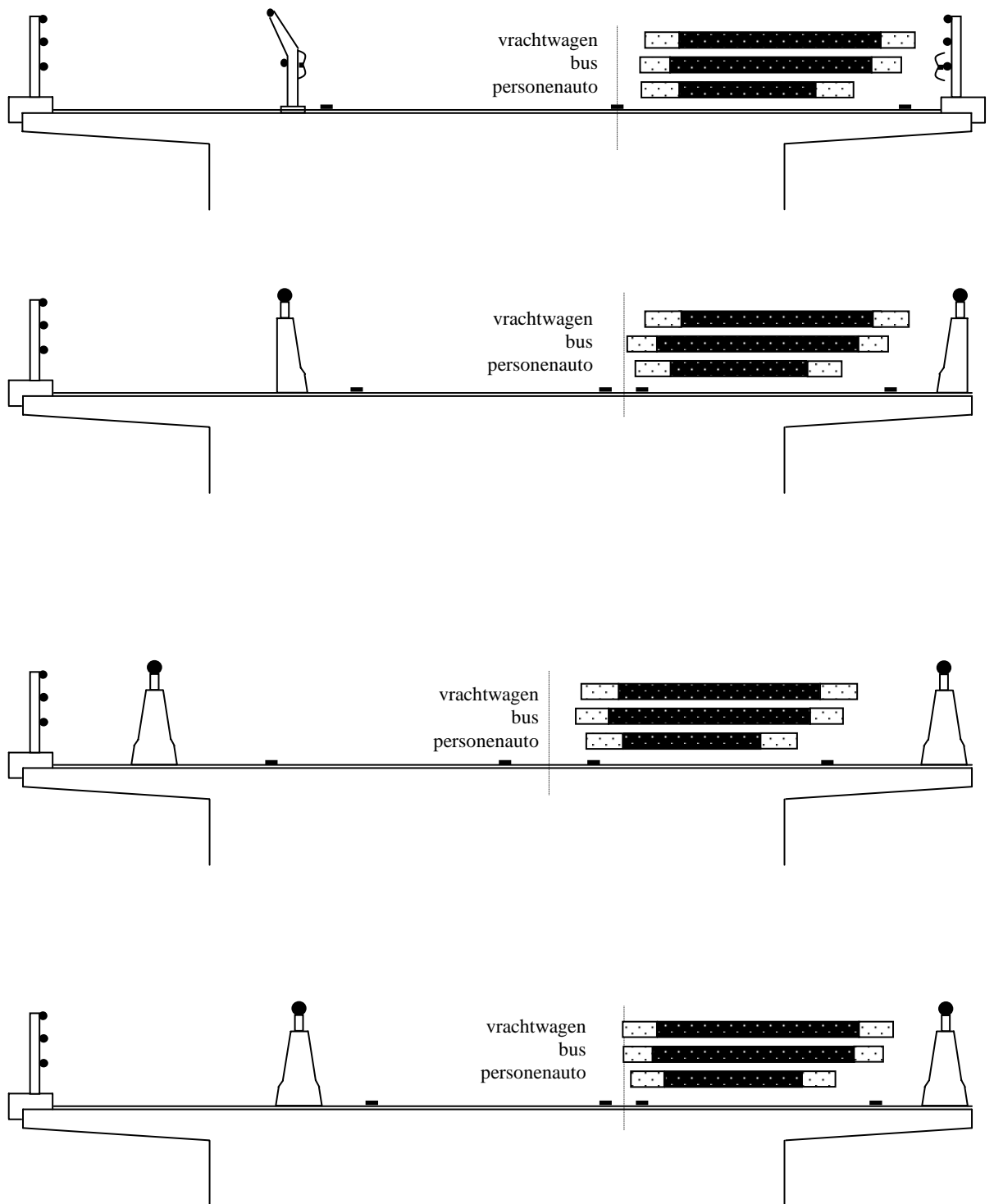
1. Normaal gesproken rijden chauffeurs van vrachtwagens en bussen bij krappe belijningen erg op hun buitenspiegels. Om technische redenen was in dit onderzoek het projecteren van buitenspiegels niet mogelijk - de beeldfrequentie zou er te laag door worden. Het betekent dat de bus- en vrachtwagenchauffeurs hun positionering minder goed hebben kunnen doen dan ze gewend zijn, ofschoon hun slingergedrag vergelijkbaar of zelfs minder (dus beter) is ten opzichte van de personenautochauffeurs.
2. Voor het bepalen van de linker- en rechterbuitenkant van het voertuig is een berekening gemaakt, uitgaande van het midden van de BMW. Men zou ook kunnen redeneren dat chauffeurs van vrachtwagens en bussen weliswaar aan de kant van de weg vlak langs het midden sturen, maar de grootste breedte van het voertuig toch rechts van de markering houden. Dat zou betekenen dat het midden van de BMW niet het midden van een virtuele vrachtwagen zou vormen. Als deze logica het meest strikt wordt gehanteerd, dan zou de laterale positie van vrachtwagens en bussen de helft van het verschil in breedte tussen de BMW en de virtuele vrachtwagen/bus naar rechts moeten opschuiven: dit is  $(2.5-1.7)/2 = 0.40$  m. Dit is de offset-correctie die in het methodedeel van dit hoofdstuk al is genoemd. Op de figuren van het overzicht (4.17 en 4.18) is te zien dat in dat geval de vrachtwagens en bussen wel een vergelijkbare afstand tot het midden van de weg aanhouden als personenauto's. Om een indruk te geven van de invloed van deze correctie is figuur 4.19 getekend; dit zijn de gegevens van figuur 4.18 - dus van het rijgedrag met variabele zijwind, de gevaarlijkste situatie. Voor de bus- en vrachtwagenposities is de maximale offset-correctie uitgevoerd: en verschuiving van 0.40 m naar rechts. De breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval verandert daar niet van. Op basis van deze maximale correctie is te zien dat nog steeds voor proefbrug 3 rijbaan-asoverschrijdingen zullen plaatsvinden, ongeveer voor 2.5-3% van de tijd, terwijl ze aan de rechterkant weinig ruimte meer over hebben.



*Figuur 4.17: Overzicht van de positie op de brug (van boven naar beneden: oorspronkelijke brug, proefbrug 1, 2 en 3) van de voertuigen (personenauto, bus en vrachtwagen) in het simulator-onderzoek voor de conditie zonder zijwind. De donkere balkjes geven de positie van het voertuig weer, de lichte balkjes links en rechts hiervan het interval waarbinnen 95% van de voertuigen zich bevindt. De situatie is berekend voor de “ruwe” gegevens, dus zoals gevonden in het experiment, met voertuigbreedten van 1.7 en 2.5 m respectievelijk voor personenauto en vrachtwagens & bussen, en zonder enige correctie voor projectie-vertekeningen. Zie voor een uitgebreide toelichting de tekst. Horizontale schaal is 1:76.9.*



*Figuur 4.18: Overzicht van de positie op de brug (van boven naar beneden: oorspronkelijke brug, proefbrug 1, 2 en 3) van de voertuigen (personenauto, bus en vrachtwagen) in het simulator-onderzoek voor de conditie met vaste zijwind. De donkere balkjes geven de positie van het voertuig weer, de lichte balkjes links en rechts hiervan het interval waarbinnen 95% van de voertuigen zich bevindt. De situatie is berekend voor de "ruwe" gegevens, dus zoals gevonden in het experiment, met voertuigbreedten van 1.7 en 2.5 m respectievelijk voor personenauto en vrachtwagens & bussen, en zonder enige correctie voor projectie-vertekeningen. Zie voor een uitgebreide toelichting de tekst. Horizontale schaal is 1:76.9.*



*Figuur 4.19: Overzicht van de positie op de brug (van boven naar beneden: oorspronkelijke brug, proefbrug 1, 2 en 3) van de voertuigen (personenauto, bus en vrachtwagen) in het simulator-onderzoek voor de conditie met variabele zijwind. De donkere balkjes geven de positie van het voertuig weer, de lichte balkjes links en rechts hiervan het interval waarbinnen 95% van de voertuigen zich bevindt. De situatie is berekend voor voertuigbreedten van 1.7 en 2.5 m respectievelijk voor personenauto en vrachtwagens & bussen, en een maximale correctie voor projectie-vertekeningen bij de vrachtwagens en bussen van 0.40 cm naar rechts. Zie voor een uitgebreide toelichting de tekst. Horizontale schaal is 1:76.9.*

Dat betekent: hoewel in figuur 4.17 en figuur 4.18 een absoluut "worst-case" situatie wordt afgebeeld, die een deel door de virtuele vrachtwagen/bus-berekening is ontstaan, dient men desondanks te twifelen aan de veiligheid van de situatie op proefbrug 3, en in mindere mate op proefbrug 1.

#### 4.6 Discussie

Het is niet makkelijk om op basis van deze grote hoeveelheid gegevens duidelijke en eenduidige uitspraken te doen over de effecten van de diverse variabelen op het rijgedrag. Uit de opinievragen blijkt dat allerlei effecten niet kunnen worden toegeschreven aan grote emotionele weerzin in het onderzoek. Voor zover te overzien valt deden alle proefpersonen serieus en gewetensvol mee aan het onderzoek en hielden ze zich aan de instructies, soms na in de proefrit de simulator wat te hebben uitgeprobeerd. Het is wel opvallend dat personenauto- en vrachtwagenbestuurders vinden dat ze in de simulator een beetje slechter reden dan normaal, terwijl juist de busbestuurders melden dat ze iets beter hebben gereden. Een mogelijke verklaring is, dat een aantal buschauffeurs spontaan meldden dat de zijwind zoals die in het onderzoek was opgezet, hen minder heftig leek dan de effecten die zij zelf in de bus in het echt ervaren. Kennelijk zijn bussen wat dat betreft de meest kritische voertuigen die over de brug kunnen rijden – afgezien van caravans en kamperen – en dit behoeft misschien aanvullende aandacht. Dit is des te opmerkelijker omdat de spreiding van de laterale positie (SDLP) toont dat juist de buschauffeurs hier de kleinste waarden tonen, dus de rechtste koers aanhouden. Hun beoordeling van de rijkwaliteit wordt hiermee dus gestaafd.

Het vergelijken van de diverse bruggen op een aantal aspecten kan uitkomst brengen als het gaat om de vraag naar de beste. Het is enigszins opvallend dat er geen effect van brug te zien is op de snelheid, want van de snelheidsmetingen blijkt dat, met enig commentaar hierbij (zie paragraaf 3.3) de proefbruggen wel effecten vertonen op snelheid. Dat dat in de simulator niet het geval is, kan een gevolg zijn van het verschil tussen de proefvakken op de echte Zeelandbrug en in de simulator: in de simulator is de beton-barrier gevisualiseerd die er op de echte brug nog niet op zit. In de simulator houden de proefpersonen zich ook beter aan de snelheidslimiet dan de bestuurders die in werkelijkheid over de brug rijden. Dat kan overigens ook een onderzoekseffect zijn: het feit dat mensen in de simulator zitten heeft op zich al een effect, want ze weten dat ze worden gemeten, ook al is de meting niet van invloed op bijvoorbeeld hun rijbewijs, of hun strafblad.

Proefbrug 3 is qua dimensionering van de rijstrookbreedte, zowel door belijning als door "harde" fysieke grenzen de meest kritische situatie. Het loont daarom de moeite expliciet te kijken naar de effecten van de diverse omstandigheden op het gedrag en de opinie ten aanzien van proefbrug 3.

Wat betreft de spreiding van de laterale positie blijkt dat proefbrug 3 de kleinste SDLP oplevert, maar de verschillen zijn vrij klein. Bovendien wordt die kleine spreiding in laterale positie niet bereikt door een kleine spreiding in de stuurbewegingen: kennelijk zijn de bestuurders op proefbrug 3 redelijk actief bezig hun slingeren in bedwang te houden. Dat blijkt ook uit de ervaren mentale inspanning: proefbrug 3 scoort in dat opzicht zelfs globaal gesproken het hoogst, en wel in toenemende mate met snelheidslimiet – dus met gereden snelheid. Het feit dat op proefbrug 3 de ruimte door belijning en de werkelijke fysieke ruimte het kleinst zijn zal hiervan de oorzaak vormen. Het is dan ook bekend dat een duidelijke belijning en een smalle rijstrook – of zoals hier een smalle "rijloperbreedte" – leidt tot vaster koers houden, maar dat dit meer inspanning kost, en ook minder aangenaam wordt gevonden. De spontane opmerkingen van de proefpersonen wezen ook in die richting: de royale ruimte van proefbrug 2 werd duidelijk gecontrasteerd met de krappe dimensionering van de rijbreedte in proefbrug 3. Omdat er

weinig ruimte is aan de zijkant blijven de bestuurders wat verder weg van de zijlijn op proefbrug 3 dan op proefbrug 2, maar ze houden toch een kleinere afstand tot de zijlijn dan op proefbrug 1 of op de oorspronkelijke brug.

Uit de projectie van de gemiddelde laterale positie met een 95%-betrouwbaarheidsinterval blijkt dat op proefbrug 3 er het meest van alle bruggen links van de asbelijning zal worden gereden. Dat kan een waarschuwing zijn dat de ruimte op de brug in het ontwerp met de barrières en het fietspad in dit simulator-onderzoek te krap gedimensioneerd blijkt te zijn. Omdat hier bovendien nauwelijks ruimte over is - de aslijn van de andere rijrichting is er 30 cm vanaf, het fysieke midden van de weg is er 15 cm vanaf - kan voorspeld worden dat hier problemen gaan optreden. Naar de frequentie hiervan is het gissen, en de beslissing of dit acceptabel is is een beleidsbeslissing. De aanbeveling die op basis van deze gegevens gemaakt kan worden is, dat er getracht moet worden zoveel mogelijk fysieke ruimte in de breedte te maken; deze is bij proefbrug 3 wellicht te gering. Proefbrug 2 voldoet in dat opzicht aanzienlijk beter, maar dat zou de beslissing betekenen van de fietsstrook een voetstrook te maken. Men zou nu een lagere snelheidslimiet kunnen opleggen bij het toenemen van de zijwind, immers met name bij een variabele zijwind blijkt dat de spreiding van de laterale positie bij een lagere snelheid kleiner wordt. Echter uit figuur 4.14 blijkt dat het verschil tussen de limiet 60 km/uur en 100 km/uur hooguit 3 cm is, dus het verschil in spreiding in werkelijkheid met een marge van 95%  $1.96 \cdot 3$  cm is bijna 6 cm naar links en naar rechts: dus slechts een royale decimeter minder in totaal. Bovendien zit het niveau van spreiding bij variabele zijwind altijd ruimschoots boven de spreiding van vaste zijwind of geen zijwind; de snelheidslimiet laten zakken tot 60 km/uur compenseert hiervoor niet.

Uit het overzicht van het resultaatgedeelte is al aangegeven dat er nuancering op zijn plaats is. Een aantal factoren maken dat vrachtwagens en bussen meer naar rechts rijden dan uit figuur 4.17 en 4.18 wordt geconcludeerd. De vraag kan zijn: in hoeverre is deze correctie realistisch? Daarvoor kan het rijgedrag van de oude situatie worden vergeleken met het rijgedrag zoals dat is gemeten bij de video-opnamen. Vergeleken moet worden figuur 2.17 en figuur 4.19, beide de bovenste brug. Ten eerste blijkt hieruit overduidelijk de gegevens van de simulator voor personenauto's goed overeen komen met de gegevens van de video: de laterale positie en de spreiding ervan zijn zo goed als identiek; in de simulator rijden personenauto's zelfs met nog iets minder spreiding dan in werkelijkheid. Op basis van de oude-brugsituatie van de video-data kan vervolgens ook gezien worden dat de offset-correctie voor de oude brug in de simulator voor de vrachtwagens en bussen een te grote verschuiving naar rechts betekent, een overcorrectie inhoudt. De waarheid van de werkelijk te verwachten laterale positie van vrachtwagens en bussen ligt dus ergens tussen figuur 4.18 en figuur 4.19 in.

Een redelijke schatting hiervoor kan verkregen worden op basis van de video-observatie. De situatie van de oorspronkelijke brug is daar opgenomen en daarbij werd vastgesteld dat vrachtwagens/bussen 0.30 m meer naar links rijden dan personenauto's. Dit verschil kan als schatting gebruikt worden voor de oorspronkelijke situatie in de simulator. Ook kan een schatting worden verkregen voor proefbrug 1 in de simulator, die een lijnindeling had overeenkomstig proefvak 3 in de video-opname op de brug. Hier rijden de vrachtwagens/bussen 0.31 m meer naar links dan de personenauto's.

Uit deze gegevens blijkt nog een belangwekkend punt, namelijk dat voor het inschatten van het rijgedrag in de **werkelijkheid** men het beste de simulator-gegevens van de condities met variabele zijwind kan nemen; zonder zijwind of met een vaste zijwind rijden de chauffeurs in de simulator met een kleinere spreiding dan op basis van de video-analyses kon worden verwacht.

Men kan zich afvragen of het wel correct is een vrachtauto- of busbreedte te berekenen in een experiment dat is uitgevoerd in een personenauto. Het verschil tussen de voertuig-condities was visueel immers alleen gelegen in een projectiehoogte-aanpassing. Om hiervan een indruk te krijgen is figuur 4.20 getekend, waarin voor alle voertuigen is uitgegaan van de breedte van de BMW - die 1.7 m is. Aan de linkerkant verandert er ten opzichte van figuur 4.19, de figuur met de offsetcorrectie, niets, omdat uitgaan van de BMW betekent dat de offset-correctie als het ware weer wordt uitgewist. In de offsetcorrectie was er juist rekening mee gehouden dat de BMW smaller is dan de virtuele vrachtwagen/busbreedte. Het maakt wel wat uit aan de rechterkant. Maar men kan betwijfelen of dat wat betekent, immers in werkelijkheid zijn bussen en vrachtwagens breder dan personen-auto's; de virtuele-bus/vrachtautoberekening is net gedaan om te zien of voertuigen met een dergelijke breedte - gegeven het reële rijgedrag in de barrier-varianten - nog veilig over de nieuw ontworpen profielen kunnen rijden. Op de keper beschouwd toont figuur 4.20 de situatie die feitelijk in het simulatoronderzoek is gemeten. Ten opzichte van de weg is deze situatie identiek aan die in figuur 4.19, dus draagt deze figuur daarvoor geen nieuwe informatie bij.

Op basis van deze correcties kunnen met behulp van een tabel van de normaalverdeling (Guilford & Fruchter, 1973) gemakkelijk drie tabellen worden berekend van de proportie asoverschrijdingen van de drie voertuigtypen. In tabel 4.4 staat deze berekening voor de gegevens zoals die in figuur 4.18 zijn afgebeeld. In termen van proporties asoverschrijdingen is dit de meest ongunstige situatie. In tabel 4.5 staat deze berekening voor de gegevens van figuur 4.19, de meest gunstige situatie. Zoals al gesteld ligt de waarheid ergens in het midden; als de schatting voor dat midden wordt genomen uit de video-observatie, zoals betoogd, dan ontstaat tabel 4.6. Toch blijkt zelfs met deze nuanceringen dat in de meest gunstige benadering - tabel 4.5 - op proefbrug 3 asoverschrijdingen van 2.5% van de vrachtwagens- en buschauffeurs blijven optreden.

Tabel 4.4: Proportie overschrijdingen in het simulatoronderzoek van de fysieke rijbaanas voor elk van de brugalternatieven, uitgesplitst naar voertuig - gebaseerd op de meest naar de weg asgepositioneerde gegevens (ongunstigste situatie). 0 = oorspronkelijke brug; 1 = proefbrug 1; 2 = proefbrug 2; 3 = proefbrug 3. Percentages zijn te berekenen door de proporties met 100 te vermenigvuldigen.

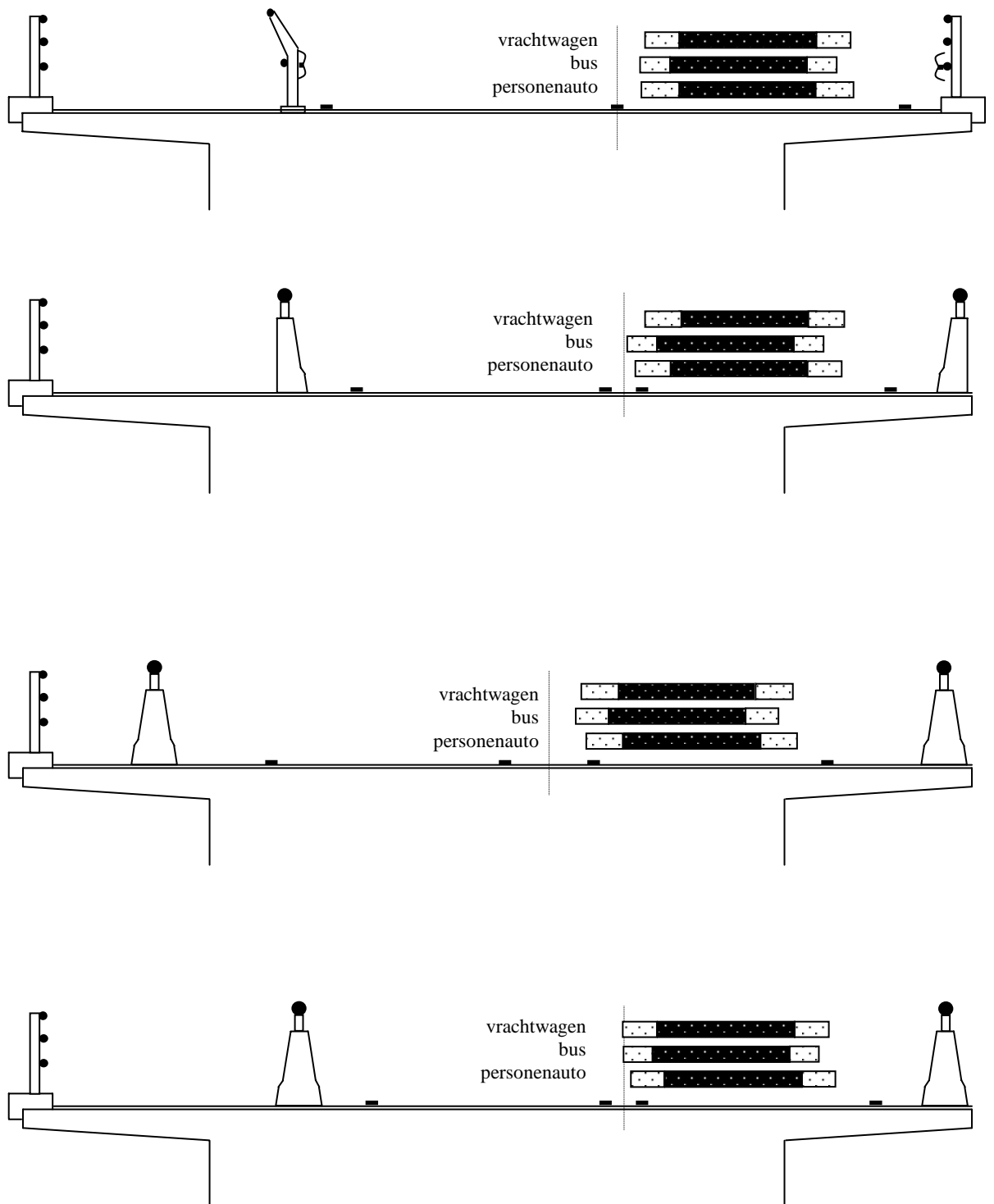
Voertuigtype	0	Brugalternatief		
		1	2	3
Personenauto's	0.0007	0.0043	0.0000	0.0078
Bussen	0.0901	0.4801	0.0559	0.6026
Vrachtwagens	0.0495	0.2177	0.0268	0.4820

Tabel 4.5: Proportie overschrijdingen in het simulatoronderzoek van de fysieke rijbaanas voor elk van de brugalternatieven, uitgesplitst naar voertuig - gebaseerd op de maximale offsetgecorrigeerde gegevens (gunstigste situatie). 0 = oorspronkelijke brug; 1 = proefbrug 1; 2 = proefbrug 2; 3 = proefbrug 3. Percentages zijn te berekenen door de proporties met 100 te vermenigvuldigen.

Voertuigtype	0	Brugalternatief		
		1	2	3
Personenauto's	0.0007	0.0043	0.0000	0.0078
Bussen	0.0003	0.0158	0.0002	0.0329
Vrachtwagens	0.0002	0.0059	0.0002	0.0314

Tabel 4.6: Proportie overschrijdingen in het simulatoronderzoek van de fysieke rijbaanas voor elk van de brugalternatieven, uitgesplitst naar voertuig - gebaseerd op gecorrigeerde gegevens, met een correctie verkregen op basis van de video-observatie (realistische situatie). 0 = oorspronkelijke brug; 1 = proefbrug 1; 2 = proefbrug 2; 3 = proefbrug 3. Percentages zijn te berekenen door de proporties met 100 te vermenigvuldigen.

Voertuigtype	0	Brugalternatief		
		1	2	3
Personenauto's	0.0007	0.0043	0.0000	0.0078
Bussen	0.0307	0.3015	0.0192	0.3974
Vrachtwagens	0.0174	0.1210	0.0094	0.3085



*Figuur 4.20: Overzicht van de positie op de brug (van boven naar beneden: oorspronkelijke brug, proefbrug 1, 2 en 3) van de voertuigen (personenauto, bus en vrachtwagen) in het simulator-onderzoek voor de conditie met variabele zijwind. De donkere balkjes geven de positie van het voertuig weer, de lichte balkjes links en rechts hiervan het interval waarbinnen 95% van de voertuigen zich bevindt. De situatie is berekend voor voertuigbreedten van 1.7 m voor alle voertuigen, de werkelijke breedte van de simulatorauto. Zie voor een uitgebreide toelichting de tekst. Horizontale schaal is 1:76.9.*

De vraag is wat dit betekent voor de verkeersveiligheid. De toename op asoverschrijdingen betekenen een toename van de **kans** op frontale botsingen en schampbotsingen ten opzichte van de oude situatie. Dit geldt voor de uitvoering van proefbrug 3, maar ook voor proefbrug 1, in mindere mate. Echter in welke mate deze toename van **kans** zal leiden tot een werkelijke toename van **aantallen** ongevallen van dit type is volstrekt onbekend. Immers, bestuurders zullen altijd trachten tegenliggers te ontwijken. Er is op de huidige brug immers ook een bepaalde proportie asoverschrijdingen, maar uit de ongevalsgegevens blijkt dat er zo goed als geen frontale botsingen plaatsvinden. Kennelijk lukt het ontwijken van tegenliggers momenteel op een acceptabele wijze. Dit succesvol ontwijken kan dan weliswaar een toename van de inspanning betekenen die het rijden op de Zeelandbrug met zich mee brengt, maar binnen zekere grenzen kan een toename in de inspanning bij de rijtaak een verbetering van de verkeersveiligheid tot gevolg hebben (zie De Waard, 1996).

Men kan met deze gegevens ook berekenen wat de minimale breedte is die tussen de barriers moet worden aangehouden om een proportie asoverschrijdingen te verkrijgen die gelijk is aan de oorspronkelijke situatie in het gunstigste (= veiligste) geval. Gegeven het meest naar links rijdende voertuigtype (buschauffeurs) en de grootste gevonden standaarddeviatie (die van de vrachtwagenchauffeurs, 0.24) blijkt dat een rijbaanbreedte van 8.20 m tussen de barriers voldoende is om de ruimte te maken die nodig is voor een rijgedrag vergelijkbaar met de oorspronkelijke situatie, waarbij een afstand van 1.0 m tussen de twee middenaslijnen de nodige ruimte geeft. Uitgaande van rijstroken van 2.75 m betekent dat een indeling als volgt (van west naar oost): barrier, 0.55 m kantstrook, 0.15 m kantlijn, 2.75 m rijstrook, 0.15 m lijn, 1.0 m middenstrook, 0.15 m lijn, 2.75 m rijstrook, 0.15 m kantlijn, 0.55 m kantstrook, barrier.

In hoeverre de vormgeving van de barriers de beleving van de brug beïnvloed kan op basis van enkel deze simulatorstudie niet worden geconcludeerd. Er kan wel een suggestie worden verkregen door de resultaten van de video-gegevens van proefvak 3 te vergelijken met de resultaten van de simulator-gegevens van proefbrug 1. De dimensionering van de vrije ruimte is bij deze twee alternatieven nagenoeg identiek. Het vergelijken bestaat uit het op elkaar leggen van genoemde alternatieven in de figuren 2.17 en 4.19, waarbij vooraleerst alleen naar de personenauto's wordt gekeken. Het blijkt dan dat in de situatie met barrier de personenauto's meer naar links rijden dan in de situatie met open leuning. Dat wijst erop dat de gesloten barrier enige "barriervlucht" zou kunnen uitlokken. Echter de statistische significantiegrens van deze schatting ligt op meer dan 5%, want de twee 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de betreffende laterale posities overlappen elkaar (lichte balkjes vallen deels over elkaar). Het vergaren van meer gegevens, bijvoorbeeld in de vorm van een belevingsonderzoek kan hierover meer inzicht bieden.

## 5 Integratie, conclusies en aanbevelingen

---

In het voorafgaande rapport is verslag gedaan van twee onderzoeken op de Zeelandbrug die tot doel hadden te bepalen wat de effecten kunnen zijn van een verandering in rijstrook-indeling en het aanbrengen van betonnen barriers in plaats van de huidige leuning. Een onderzoek werd gevormd door een video-opname op de Zeelandbrug, waarbij de oude situatie is vergeleken met drie varianten van belijning, maar wel binnen de fysieke ruimte van de oude situatie. Met de video-opnamen is een analyse gemaakt over het inhalen en de laterale-positiekeuze - de plaats van voertuigen op de rijbaan in termen van afstand tot de zijlijn en de wegas. Aanvullend werden snelheidsgegevens van de Provincie Zeeland geanalyseerd.

Gebleken is dat de nieuwe varianten van belijning het aantal inhaalmanoeuvres drastisch reduceert. Voorts bleek dat bij de nieuwe belijningsvarianten voertuigen een positie kiezen die iets meer in de richting van de fysieke wegas is gelegen, maar dat dit slechts een heel kleine verschuiving is. Als het doel van de nieuwe belijning was om te zorgen dat men verder van de fysieke wegas afblijft, dan is de conclusie dat dit niet overal gebeurt. Kennelijk richten bestuurders zich op de asbelijning om de positie in dwarsruimte te richten. Bij één alternatief met dubbele doorgetrokken asbelijning (alternatief 3) blijft men echter wel wat meer van de belijning af. Als er tegenliggers zijn dan schuift men op naar rechts zodat er bij de wegas wat meer vrije ruimte ontstaat. Bij de nieuwe wegbelijningsvarianten wordt iets minder geslingerd. Uit snelheidsmetingen door de Provincie blijkt dat de nieuwe belijningsvarianten een reductie van de gemiddelde snelheid teweeg brengen, en dat op twee van de drie proefvakken ook de 90e-percentielsnelheid vermindert. Er is een behoorlijke reductie van het aantal voertuigen dat de snelheidslimiet van 80 km/uur overschrijdt; deze daalt tot ongeveer 36-48% (afhankelijk van de meetlocatie), hetgeen betekent dat minder dan de helft van de voertuigen de limietsnelheid overschrijdt.

In het simulatoronderzoek wordt gevonden dat het aanbrengen van barriers samen met een rijstrookbreedte van 2.75 m leidt tot meer overschrijdingen van de middenas, met name voor vrachtwagen- en buschauffeurs vergeleken met de oude situatie of het breedste nieuwe alternatief. Kennelijk werkt de "visuele hardheid" van de barrier zodanig dat men daar afstand van wil houden, en die ruimte wordt bij de wegas gezocht. Omdat in de simulator wordt gereden in een personenauto, terwijl er gerekend is met een breedte van een vrachtauto, is het fair een correctie voor de hierdoor optredende projectie-fout te berekenen. Deze offset-correctie is maximaal 40 cm: dat betekent dat de gegevens voor vrachtwagens en bussen maximaal 40 cm te veel naar links staan - en dat kan gecompenseerd worden in de berekeningen. Zelfs met deze maximale correctie blijft de proportie asoverschrijdingen bij twee van de drie barrier-brugalternatieven groter dan op de oorspronkelijke leuningbrug; alleen bij het alternatief met de meeste wegbreedte tussen de barriers bleek de proportie asoverschrijdingen lager te worden dan bij de oorspronkelijke brug. De berekening van de correctiefactor voor de simulatorgegevens op basis van werkelijk gemeten verschillen in de video-gegevens levert een realistischer schatting van de uit te voeren correctie op. Echter de verschuiving naar rechts is dan minder groot (slechts 10 cm) dan in de maximale correctie. Ook met deze meest realistische correctie wordt een toename van de overschrijdingskans de simulatorbrug-alternatieven 3 en 1 ten opzichte van de oorspron-

kelijke situatie gevonden. De overschrijdingsproportie wordt respectievelijk 13 maal en 10 maal zo groot als op de oorspronkelijke brug.

Het stellen van een lagere maximumsnelheid, met name bij sterke en variabele zijwind, geeft enig positief effect op de laterale positie, maar dit is veel te weinig om de toename in het slingeren door zijwind te compenseren. Ook zonder zijwind is de spreiding van de laterale positie zodanig groot dat er ruimtegebrek ontstaat bij de smalste brugalternatieven.

Op basis van bovenstaande bevindingen, en uitsluitend met de veiligheid en het rijgedrag van het gemotoriseerde verkeer als criterium, kunnen de volgende conclusies en aanbevelingen worden gedaan:

1. Wat betreft de belijning: het aanbrengen van een doorgetrokken asbelijning zal een duidelijke verbetering vormen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, vooral als deze asbelijning een dubbele streep betreft. Het aantal inhaalmanoeuvres vermindert drastisch en men rijdt langzamer. Aanbevolen wordt de brug geheel volgens één alternatief (dubbele asstreep) uit te rusten.
2. Wat betreft het aanbrengen van barriers op de plaats van de huidige open leuning: verwacht wordt dat er dan in de breedte een ruimteprobleem zal ontstaan, aangezien de proportie wegasoverschrijdingen toeneemt ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Een brugindeling als proefbrug 3, met een rijbaanbreedte van 7.42 m, wordt op basis van dit onderzoek dan ook ontraden. Ook barriers met de huidige rijbaanbreedte van 7.79 m leveren een toename van de asoverschrijdingsproporties op. Kiezend uit de onderzochte varianten wordt aanbevolen, een variant op de brug aan te brengen vergelijkbaar met die van proefbrug 2 in het simulator-onderzoek met een rijbaanbreedte van 9.27 m tussen de barriers. Dit levert een verbetering op van de asoverschrijdingsproporties. Op basis van een berekende extrapolatie van alle gegevens kan worden aanbevolen minimaal 8.20 m rijbaanbreedte tussen de barriers aan te houden. Dit geeft naar verwachting asoverschrijdingsproporties vergelijkbaar met de oorspronkelijke situatie.

Implementatie van aanbeveling 1 geeft bovenop de gelijk blijvende overschrijdingsproporties (berekend gedrag op basis van de gegevens) of zelfs verkleinde overschrijdingsproporties (geconstateerde gedrag bij het breedste alternatief) van aanbeveling 2 een additionele veiligheidsverbetering door snelheids- en inhaalverbeteringen, en de barrier zelf geeft verbeterde veiligheid aan de waterkant. In hoeverre een andere plaats van de barrier dan die van de huidige leuning technisch en politiek haalbaar is valt buiten het bestek van dit rapport.

# Literatuur

---

D.P. Overkamp (1997). *Beoordeling en maatregelen verkeersveiligheid Zeelandbrug*. Amersfoort: DHV milieu en infrastructuur BV (rapport 97 3738).

Guilford, J.P. & Fruchter, B. (1973). *Fundamental statistics in psychology and education (5th edition)*. Tokyo: McGraw Hill.

Horst, A.R.A. van der, & Bakker, P.J. (1994). *Effecten van snelheidsbeperkende maatregelen op 80-km wegen in Drenthe op de dwarspositie van voertuigen*. Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Waard, D. de (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Haren: Verkeerskundig Studiecentrum, Rijksuniversiteit Groningen. Proefschrift.



## **Bijlagen**

---

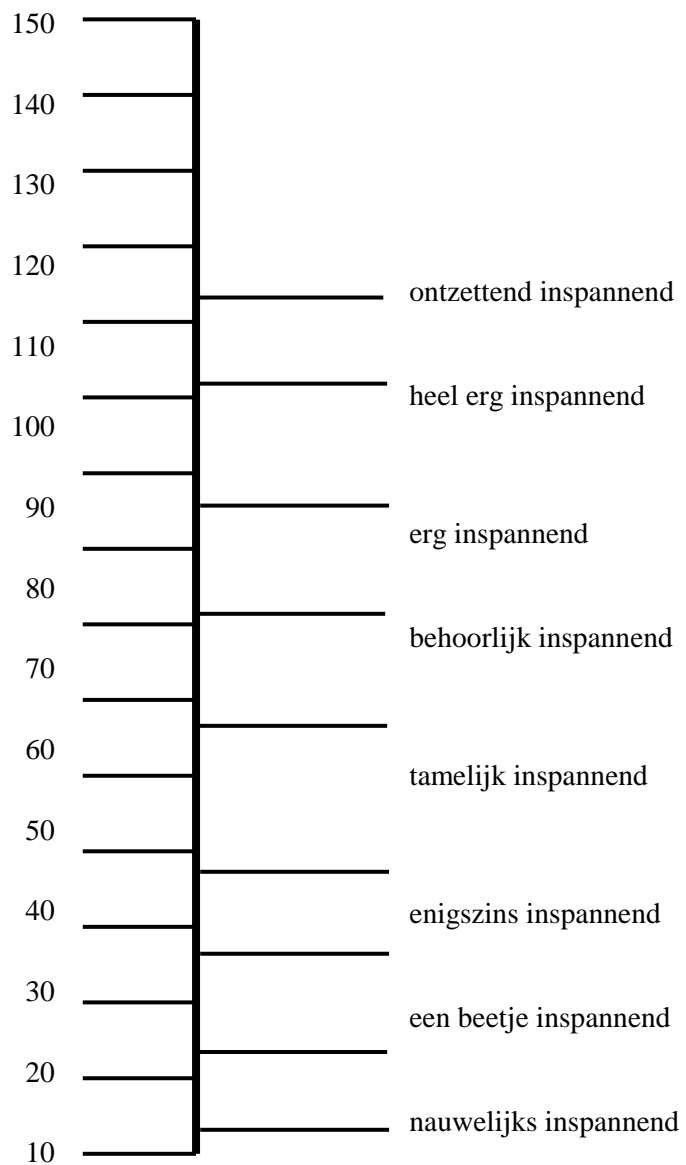


**Bijlage 1:**

## **Beoordelingschaal Mentale Inspanning BSMI**

Wilt u door middel van het noemen van een getal of een tekst aangeven hoeveel inspanning u heeft ervaren bij het doen van de zojuist uitgevoerde taak?

---



**Bijlage 2.**

## **Rij-kwaliteit schaal**

Wilt u aangeven op de lijn hoe u vindt dat u gereden hebt

---

ik heb heel goed gereden

ik heb normaal gereden →

ik heb heel slecht gere-

**Bijlage 3.**

**Algemeen vragenformulier**

PP-code:
Zee / Gro
Pers / Vracht / Bus
Datum:
Tijd:

Geslacht: M / V

Leeftijd: .... jaar

Aantal jaren rijbewijs: .....jaar

Aantal km/jaar (ongeveer): ..... km/jaar

Wat vond u van het simulator-onderzoek?

(Plaats om antwoord te geven per regel één kruisje in een vakje dat het beste met uw mening overeen komt)

erg leuk		___		___		___		___		___		erg vervelend
erg prettig		___		___		___		___		___		erg onaangenaam
erg nuttig		___		___		___		___		___		erg nutteloos
erg opwindend		___		___		___		___		___		erg saai
erg natuurgetrouw		___		___		___		___		___		erg kunstmatig

Wat vond u van de nieuwe barriers?

erg goed		___		___		___		___		___		erg slecht
----------	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	------------

Wat vond u van de nieuwe belijning?

erg goed		___		___		___		___		___		erg slecht
----------	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	------------

Heeft u verder opmerkingen over het onderzoek?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Bijlage 4.

Woordelijke weergave van de commentaren in de opinievragenlijst.

De proefpersoon-code geeft de volgende informatie: zb = zeelandbrug; tweecijferig getal = proefpersoon-nummer, p = personenauto, v = vrachtauto, b = bus; g = groninger, z = zeeuw. Alleen de proefpersonen die opmerkingen hebben gemaakt worden vermeld.

- zb04pg: Belijning verder van vangrail met ribbels: goed/erg goed. Klappen van tegenmoetkomende vrachtauto's mis ik. Dichte betonnen wand (barrier) qua verkeersveiligheid goed, a) minder wind; b) minder afleiding (geen zicht opomgeving), je moet je op zo'n weg goed concentreren. Snelheid 60 km te laag - wegdommelen.
- zb05bg: Bussen en vrachtauto's zijn windgevoeliger dus meer zijwind creëren.
- zb07pg: Eén beweging te veel naar links of rechts en boem, je hebt weinig speling.
- zb09bg: Nieuwe barriers: a) geeft opgesloten gevoel, men reageert "paniekerig" bij plotselinge windrukken, b) heeft overigens wel minder last van wind. Nieuwe belijning: neiging tot onverschilligheid. Men kan royaler sturen. Kan veiliger zijn, als de snelheid maar niet wordt opgevoerd. \* Zonder barriers geeft meer ruimtelijk gevoel. \* Natuurgetrouw? Wind van zee is voelbaar, daar reageert men op. Forse windflappen van tegemoet komende (vracht)auto's niet warneembaar, doch wel degelijk van invloed op rijgedrag.
- zb10bg: Ik had wat moeite met de snelheidsmeter, misschien net als de achteruitkijkspiegel in het beeldscherm?
- zb14pg: Persoonlijk hou ik van een open blikveld; ik krijg een beklemmend gevoel, en minder een gevoel van veiligheid.
- zb16pz: Op de "echte" Zeelandbrug zijn de katteogen duidelijk zichtbaar, in de simulator niet, terwijl die toch wel 't rijgedrag beïnvloeden.
- zb19pz: "Doel" was me niet helemaal duidelijk, er was weinig/geen variatie aan te treffen.
- zb21vg: De belijning op de oude brug geeft een rustiger beeld.
- zb23pz: Redelijk natuurgetrouw.
- zb24pz: Variant barriers m.i.iets lager om zicht op de Oosterschelde te hebben (golf-slag/schepen). Dubbele belijning goed. Barriers ontnemen zicht op fietspad; leidt dus niet af.
- zb25pz: [nuancering oordeel nieuwe belijning "erg goed"] te minste bij de dubbele lijnen met extra ruimte.
- zb26vg: De barriers geven mij een opgesloten gevoel zodat ik ga twifelen over mijn positie op de weg.
- zb29pg: Bij verschillende weers(wind) invloeden is het van belang snelheidsvoorschriften aan te geven middels de boven het wegdek geplaatste aanduidingen. Ik miste andere invloeden, zoals regen, mist, lage zon en dergelijke. Voor de rest zijn deze testen erg zinvol.
- zb30bg: T.a.v. de barriers: afstand tot belijning zo groot mogelijk. T.a.v. belijning: middenbelijning met grootste tussenruimte.
- zb31pg: De nieuwe belijning rijdt een stuk prettiger; het wegdek is wat breder waardoor je bij windvlagen een grotere/betere buffer voor de afwijking van je auto hebt.
- zb32vz: Ik vond het een goed onderzoek. Het wordt ontzettend smal op de brug. Het is toch heel anders dan in werkelijkheid. (Vond barriers "opgesloten" gevoel geven).
- zb33vz: Zie er het nut van in om tot een zo goed mogelijke oplossing te komen. De dubbele belijning van het wegdek geeft een beter beeld van de weg, een rustiger beeld.
- zb34vz: Het was wel even wennen aan de plotselinge wind. In werkelijkheid is die toch wel wat meer constant. (Smalle barriers-condities werden benauwend ervaren).
- zb35vz: Dubbele belijning in het midden met zijbelijning en barrier en tussen de belijning en barrier 20 cm ruimte rijdt het prettigst (de barrier tegen de zijbelijning het minst prettig).

- zb36vz: Dubbele belijning op de brug begeleidt goed. Barriers die van beton <> dicht zijn geven de chauffeurs een gevoel dat de brug nog smaller wordt.
- zb37vg: Waarom link van de brug ook geen barriers? met het oog op windvlagen?
- zb39bg: Acht ritten achter elkaar te lang.
- zb41vz: De brede belijning in het middenvak was het prettigst.
- zb42vz: Snelheidsbeperking tot 70 km max.
- zb43pg: 1) Brede dubbele belijning rijdt prettiger, rustiger en minder inspannend dan smalle dubbele belijning. 2) Oorspronkelijke leuning erg irritant → barriers rijden rustiger en minder irriterend.
- zb45vz: Ik vind de dichte barriers fijn. Rijd best ontspannend. De snelheid tussen 60 en 80 km best fijn. Eventuele hogere leuning dat men niet zo in het diepe kijkt. Verlichting op de brug zou veiliger zijn. Inhaalverbod moet blijven. Het zou fijn zijn wanneer matrix borden op de brug komen, voor informatie voor open brug of ongeval, slipgevaar - misschien over de helebrug 2 of 3 borden.
- zb47pz: Naar beide kanten uitzicht op het water is erg prettig, maar komt de veiligheid niet altijd ten goede. Een geheel dichte brug heeft mijn voorkeur.
- zb48pz: Veel succes met het onderzoek! [Dank!]
- zb50bz: De zijwind is in de simulator minder erg dan in werkelijkheid.
- zb54bz: In de werkelijkheid is bij stevige/stormachtige wind sprake van een constante zwaardere belasting en corrigeren, bij sommige windstoten bedraagt de "uitzwaai" dan wel ± 25 cm. Deze situatie ontbrak in de testen.
- zb56bz: Betonranden met fiets, dan wordt het te smal. Betonranden met voetpad, dan is het perfect. Of laten zoals het is.
- zb57bz: Veel ruimte naast belijning opvallend fijn.
- zb58bz: Ik mis toch het echte "natuurgeweld" dat storm op een bus op de brug veroorzaakt. In de praktijk heb je ook te maken met wind in combinatie met neerslag (regen etc.). Tijdens het rijden moet je ook wat knoppen bedienen en combo gebruiken, wat toch heel even ten koste gaat van je aandacht op de weg. Dus je hebt momentjes dat je even moet bijcorrigeren. Zie ook bijgaande schets [waarop de proefvakkensituatie op de echte Zeelandbrug is weergegeven, en een schematische aaduiding van hoe de wind over en onder de brug gaat ten opzichte van de peilers].
- zb59vg: Als de barriers wind tegenhouden worden ze aangekruist met "goed".
- zb60vg: Rem niet goed.