

Verkeersonveiligheid door windhinder en flessenhalzen in autosnelwegen

Ir. R.M. van der Kooi

R-2001-5

Verkeersonveiligheid door windhinder en flessenhalzen in autosnelwegen

Bijdrage aan een achtergrondstudie naar een ernstig ongeval op de N31

R-2001-5

Ir. R.M. van der Kooi

Leidschendam, 2001

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2001-5
Titel:	Verkeersonveiligheid door windhinder en flessenhalzen in autosnelwegen
Ondertitel:	Bijdrage aan een achtergrondstudie naar een ernstig ongeval op de N31
Auteur(s):	Ir. R.M. van der Kooi
Themaleider:	Ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	69.132
Projectnummer opdrachtgever:	OWV00002
Opdrachtgever:	Raad voor de Transportveiligheid
Trefwoord(en):	Accident, wind, side, force, motorway, vehicle handling, driving (veh), stability.
Projectinhoud:	De Raad voor de Transportveiligheid heeft een onderzoek ingesteld naar de achtergronden van een ernstig ongeval in 1999. Dit rapport bevat de resultaten van de SWOV-bijdrage aan dit onderzoek. Deze bijdrage omvat de studie naar de verkeersonveiligheid van 1) een zijwaartse windrichting en 2) de aanwezigheid van een zogenaamde flessenhals in een autosnelweg. Dit is een overgang van een 2x2-autosnelweg (twee rijbanen en twee rijstroken per rijbaan) naar een 1x2-autoweg (een rijbaan met per richting een rijstrook), echter zonder de gebruikelijke afslag.
Aantal pagina's:	31 blz.
Prijs:	f 20,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2001

Samenvatting

In 1999 heeft zich een ernstig ongeval voorgedaan op de N31 in de provincie Friesland, waarbij elkaar tegemoet rijdende voertuigen betrokken waren. De Raad voor de Transportveiligheid heeft een onderzoek ingesteld naar de achtergronden van dit ongeval. Belangrijke onderzoeksvragen daarbij waren of extra verkeersonveiligheid kan ontstaan door 1) een zijwaartse windrichting, en 2) een profielverandering van een 2x2-autosnelweg (twee rijbanen en twee rijstroken per rijbaan) naar een 1x2-autoweg (een rijbaan met per richting een rijstrook), echter zonder de gebruikelijke afslag.

In deze deelstudie is gekozen voor een beoordeling van de verkeersonveiligheid van dergelijke overgangen (zogenaamde flessenhalzen) met behulp van landelijke kencijfers. Daarnaast is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de invloed van natuurlijke wind en luchtverplaatsing op elkaar tegemoet rijdende voertuigen op een autoweg.

Met de kencijferbenadering is een aantal flessenhalzen in autosnelwegen met elkaar vergeleken. Onderzocht is of het aantal letselongevallen (ongevallen met fatale afloop en ongevallen met letsel samen) op deze locaties afwijkt van wat verwacht mag worden op grond van de landelijke kencijfers. Deze kencijfers beschrijven het nationale gemiddelde risico voor verschillende wegtypen.

Combinatie van een kencijfer (risico) voor een bepaald type weg met de intensiteit (expositie) op die weg, geeft een verwachting voor de hoeveelheid ongevallen (risico * expositie) voor een bepaalde periode. In dit onderzoek zijn gegevens uit een periode van ongeveer 10 jaar gebruikt.

Er is gebleken dat de flessenhals bij Midlum (N31) negatief afwijkt van het landelijke gemiddelde; er vinden meer ongevallen plaats dan verwacht.

De literatuurstudie over windhinder richtte zich op de invloed van rij- en zijwind bij de ontmoeting van auto's uit tegenovergestelde richting en in mindere mate bij het inhalen van auto's. Uit de literatuurstudie is gebleken dat de invloed van alleen de rijwind van een vrachtwagen of bus op een inhalende personenauto beperkt is. In combinatie met krachtige zijwind kan de invloed op een inhalende personenauto groot zijn als de verstorende vrachtwagen of bus zich bovenwinds van de verstoorde personenauto bevindt.

Wanneer een personenauto een hem tegemoet rijdende vrachtwagen passeert is, anders dan bij inhalen, de gedeeltelijke onderbreking van de zijwind zeer kort. Het effect van de tijdelijk verminderde windkracht op de personenauto is daardoor klein en heeft in het algemeen geen consequenties voor de verkeersveiligheid.

Summary

Road safety effects of wind, and bottlenecks on motorways; Contribution to a background study of a serious accident on the N31

In 1999, a serious accident occurred on the N31 in the Dutch province of Friesland. It involved a head-on vehicle collision. The Dutch Transport Safety Board commissioned a background study of this accident. The important research questions were whether extra danger can occur from 1) wind, and 2) a profile change from a 2x2 motorway (a dual-carriageway with two lanes for each direction) to a 1x2 trunk road (single-carriageway with one lane per direction); this, however, without the usual exit road.

The choice in this contribution was for a road safety judgement of such transitions (so-called bottlenecks), using national data. Furthermore, a literature study was made of the disturbance by natural wind and that created by vehicles travelling towards each other on a trunk road.

Based on national data, a comparison was made between a number of bottlenecks on motorways. It was analysed if the number of injury accidents (fatal plus non-fatal injury) on these locations was different from the number to be expected from national data. Such data quantifies the national average risk for various road types.

The combination of national data (risk) for a particular road type of a given traffic intensity (exposure) gives an expectation for the number of accidents (risk * exposure) for a particular period. In this study the period used was about 10 years.

It appeared that the bottleneck on the N31 (at Midlum) negatively deviated from the national average; there were more accidents than expected.

The literature study on wind disturbance concentrated on the influence of side-wind and that created by the vehicle itself on cars driving towards each other from different directions; and to a lesser extent, during overtaking. The study showed the influence of only the vehicle wind of a lorry or bus on an overtaking car was limited. When combined with a strong side wind, the influence on an overtaking car can be great if the (disturbing) lorry or bus is up-wind of the (disturbed) car.

When a car passes a lorry driving towards it, otherwise than when overtaking, the partial interruption of the side-wind is very short. The effect on the car of the temporarily lessened wind is, because of this, small and, in general, has no road safety consequences.

Inhoud

1.	Inleiding	6
1.1.	Aanleiding tot het onderzoek	6
1.2.	Vraagstelling van het onderzoek	6
1.3.	Onderzoek naar flessenhalzen	6
1.4.	Onderzoek naar windhinder	7
2.	Onveiligheid van flessenhalzen in autosnelwegen	8
2.1.	Inleiding	8
2.2.	Probleemstelling en hypothese	8
2.3.	De onderzoeksbenadering met kencijfers	9
2.3.1.	Korte introductie kencijfers	9
2.3.2.	Berekening met kencijfers	11
2.4.	De visuele onderzoeksbenadering	14
2.4.1.	Ongevallen te Zurich N31	15
2.4.2.	Ongevallen te Bemmeler A15	16
2.4.3.	Ongevallen te Midlum N31	17
2.4.4.	Ongevallen te Lunteren N30	18
2.4.5.	Ongevallen te Assen N33	19
2.4.6.	Ongevallen te Hoogeveen A37	20
2.5.	Bevindingen onveiligheid flessenhalzen	21
3.	Onveiligheid van windhinder bij elkaar tegemoet rijdende voertuigen	22
3.1.	Inleiding	22
3.2.	Probleemstelling en hypothese	22
3.3.	Aspecten van windhinder	22
3.3.1.	Karakter van wind	23
3.3.2.	Luchtverplaatsing rond een rijdend voertuig	24
3.3.3.	Reactie van de bestuurder	24
3.3.4.	Windgevoeligheid van het voertuig	25
3.4.	Windhinder: samenstel van factoren	25
3.5.	Bevindingen onveiligheid windhinder	28
4.	Conclusies en aanbevelingen	29
4.1.	Onderdeel flessenhalzen	29
4.2.	Onderdeel windhinder	29
	Literatuur	30

1. Inleiding

1.1. Aanleiding tot het onderzoek

Op 21 juli 1999 heeft op de N31 een ernstig ongeval plaatsgevonden waarbij verscheidene slachtoffers te betreuren waren. Naar aanleiding hiervan heeft de Kamer Wegenverkeersongevallen van de Raad voor de Transportveiligheid een onderzoek ingesteld, waarvan dit onderzoek een deuluitwerking is. Het ongeval vond plaats in de buurt van de overgang van een autosnelweg naar een autoweg. Deze overgang bestaat uit een verandering in het dwarsprofiel zonder de gebruikelijke afslag, een zogenaamde flessenhals. Op de N31 bevinden zich twee van deze overgangen, één bij Zurich en één bij Midlum. Eveneens was er op die dag sprake van een krachtige wind.

1.2. Vraagstelling van het onderzoek

De oorzaken van ongevallen worden vaak teruggevoerd op omstandigheden die bepaald worden door de weg, het voertuig, de mens, het weer en de lichtomstandigheden, of combinaties hiervan. De combinatie van omstandigheden bij dit ongeval heeft tot een dubbele vraagstelling geleid. De eerste onderzoeksvraag is in hoeverre de zogenaamde flessenhalzen onveilig zijn, de tweede betreft de onveiligheid van windhinder. Deze twee verschijnselen zijn niet direct gerelateerd. Het passeren van een flessenhals kan echter wel gepaard gaan met windhinder, waarbij beide verschijnselen het karakter van een plotselinge verandering kunnen hebben.

De twee verschijnselen 'flessenhals' en 'windhinder' worden afzonderlijk uitgewerkt. In het onderdeel flessenhalzen zal de meeste aandacht liggen bij de 'weg-gebonden' aspecten. De weer-, voertuig- en menselijke aspecten komen in het onderdeel over windhinder meer naar voren.

1.3. Onderzoek naar flessenhalzen

De overgang van een 2x2-autosnelweg (twee rijbanen en twee rijstroken per rijbaan) naar een 1x2-autoweg (een rijbaan met per richting een rijstrook) zónder dat daarbij wordt afgeslagen, is een capaciteitsvermindering. Deze capaciteitsvermindering wordt een flessenhals genoemd. Tegen deze achtergrond wil de Kamer Wegenverkeersongevallen weten in hoeverre de onveiligheid op flessenhalzen groter is dan op wegen zonder flessenhalzen.

Met de overgang naar een autoweg wordt expliciet gekozen voor een minder veilige oplossing dan met het door laten lopen van de autosnelweg. Immers, een 2x2-autosnelweg is veiliger dan een 1x2-autoweg. Een autosnelweg heeft bijvoorbeeld een rijbaanscheiding en vluchtstroken, in tegenstelling tot de meeste autowegen.

De vraag is nu of op een autoweg nog een 'extra' onveiligheid ontstaat door de vorm van de overgang zelf: een flessenhals, in plaats van de gebruikelijke aansluiting. De weggebruiker wordt bij een dergelijke overgang met een ongebruikelijke, misschien onverwachte discontinuïteit geconfronteerd.

Het doel van deze studie is inzicht te krijgen in het effect van flessenhalzen op de verkeersveiligheid.

Met behulp van een risicobenadering volgens de kencijfermethodiek worden zes locaties vergeleken. Daarnaast wordt een kwalitatieve, visuele inspectie uitgevoerd om de vergelijking te onderbouwen (Hoofdstuk 2).

1.4. **Onderzoek naar windhinder**

Het tweede onderdeel heeft betrekking op de luchtverplaatsing rond voertuigen en is terug te voeren op de harde wind op de dag van het ongeval. Vermoed wordt dat wind een rol van betekenis speelt bij het ontstaan van ongevallen met voertuigen die elkaar naderen uit tegenovergestelde richting.

Aan de hand van een literatuuronderzoek wordt in hoofdstuk 3 inzicht gegeven in de aspecten van windhinder.

2. Onveiligheid van flessenhalzen in autosnelwegen

2.1. Inleiding

Het type flessenhals dat in deze studie wordt beschouwd is een overgang van een tweebaans-, tweestrooks-autosnelweg naar een enkelbaans-, tweestrooks-autoweg. Een dergelijke overgang in dwarsprofiel is een discontinuïteit in het wegbeeld van een wegennet.

Het is van belang dat een automobilist weet wat er op een bepaald type weg van hem verwacht wordt. Hij moet kunnen anticiperen op de weg en zijn omgeving. Een discontinuïteit als een flessenhals vergt een aanpassing van de bestuurder; op een 2x2-autosnelweg wordt er iets anders van de bestuurder verwacht dan op een 1x2-autoweg. Een duidelijke overgang accentueert dat van de bestuurder een ander rijgedrag gevraagd wordt dan op het voorgaande weggedeelte.

2.2. Probleemstelling en hypothese

De invloed van een verandering in dwarsprofiel van een autosnelweg naar een autoweg strekt zich theoretisch voor en na die overgang uit. Vóór de overgang moeten de auto's op de, in de meeste gevallen, afvalende linker rijstrook invoegen naar de rechter strook. Dit gaat bij lage verkeersintensiteiten eenvoudiger dan bij hoge. Het is denkbaar dat een automobilist 'nog even' op de autosnelweg voor de eigenlijke overgang in dwarsprofiel wil inhalen, omdat dat op de autoweg moeilijker is of niet meer mag. Een dergelijke manoeuvre kan extra risico met zich meebrengen. Ná de overgang zal de bestuurder zich moeten aanpassen aan (bijvoorbeeld) het andere snelheidsregime, het moeilijker kunnen of niet mogen inhalen van medeweggebruikers en de aanwezigheid van tegenliggers. Ook de hoeveelheid vrachtverkeer kan een rol spelen.

Aanpassing van het rijgedrag aan een nieuwe situatie wordt afhankelijk verondersteld van de uitgangssituatie. Wanneer een bestuurder van een snelweg af komt is hij een hoge snelheid gewend. Na de overgang naar een lagere-ordeweg beoordeelt hij zijn snelheid op deze weg lager dan hij werkelijk is. Hij vermoedt dus dat hij al langzamer rijdt maar die inschatting is vaak foutief: hij rijdt sneller dan hij denkt. Hoe langer de bestuurder op hoge snelheid heeft gereden voorafgaand aan de overgang, hoe sterker dit effect (Sanders & McCormick, 1987).

Het is dus te verwachten dat na de overgang van een autosnelweg naar een autoweg de snelheden, en dus ook het ongevalsrisico, hoger zullen liggen dan op een gemiddelde autoweg.

De invloed van de snelweg en het type overgang op de verkeersveiligheid is niet op voorhand bekend. In deze studie wordt onderzocht of een aantal flessenhalzen, waaronder die aan het begin en het einde van het 'autoweggedeelte' van de N31, wat de verkeersveiligheid betreft afwijken van een 'gemiddeld' gedeelte autoweg en autosnelweg.

De hypothese is dat de aanwezigheid van een flessenhals een mogelijke afwijking in de verkeersveiligheid veroorzaakt.

2.3. De onderzoeksbenadering met kencijfers

In de kencijferbenadering worden aan de hand van het risicoprofiel van enkele flessenhalzen, de flessenhalzen onderling vergeleken en vergeleken met het gemiddelde risicoprofiel van de Nederlandse wegen.

Omdat de omvang van de flessenhalzen, de grootte van het venster om de eigenlijke overgang, niet bekend is, wordt de vergelijking voor verschillende vensterafmetingen uitgevoerd. Een 'venster' is een combinatie van een bepaalde weglengte voor en na de overgang. Een groot venster is bijvoorbeeld 1 km autosnelweg voor en 2 km autoweg na de overgang, een klein venster is bijvoorbeeld 500 m voor en na de overgang.

Het ongevalsrisico is een belangrijke maat om de verkeersonveiligheid van een bepaald gebied met verscheidene wegen voor een bepaald jaar op een geaggregeerd niveau te beoordelen. In dit onderzoek wordt echter een vergelijking op wegvakniveau gemaakt. Omdat door de geringe weglengte het aantal verwachte en geregistreerde ongevallen per jaar te klein is om een valide vergelijking te kunnen maken, wordt een periode van enkele jaren beschouwd. De gebruikte periode is 1990 tot en met het derde kwartaal van 1999. Een belangrijke aanname is hierbij dat de weg en zijn omgeving in die periode niet te zeer veranderen wat de vormgeving betreft.

2.3.1. Korte introductie kencijfers

De veiligheid van een weg per kilometer weglengte is hier beschouwd als het aantal letselongevallen dat plaatsvindt. Een ongeval met dodelijke afloop wordt ook tot de letselongevallen gerekend. De veiligheid is afhankelijk van de verkeersintensiteit en de vormgeving van de weg.

Het risico, omschreven als het aantal letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer, wordt gelijkblijvend verondersteld bij toenemende intensiteit.

De verkeersproductie wordt berekend als het aantal dagen in een jaar * de gemiddelde weekdagintensiteit * de weglengte. In dit onderzoek zijn de intensiteiten van beide richtingen samen genomen.

De kencijfers worden uitgedrukt in het aantal letselongevallen per kilometer en zijn voor de verschillende typen wegen door de SWOV bepaald. De kencijfers zijn eenduidig bepaald voor 1986 en 1995. In deze studie worden de kencijfers van 1995 gebruikt. De UMS-ongevallen, ongevallen met Uitsluitend Materiele Schade, worden niet in het kencijfer meegenomen. Dit is met name vanwege de slechtere registratiegraad van UMS-ongevallen. In deze studie is bij de vergelijking van de flessenhalzen het kencijfer voor autosnelwegen vóór de overgang, en het kencijfer voor autowegen na de overgang gebruikt. Het kencijfer voor auto(snel)wegen is niet gedifferentieerd naar de toegestane snelheid (120 en 100, of 100 en 80 km/uur).

Om de vergelijking tussen de verwachte en de werkelijk opgetreden ongevallen te maken, moet deze verwachting met behulp van de kencijfers worden berekend. De verwachting van het aantal wegvakongevallen (E_{kc}) per periode wordt dan berekend als:

$E_{kc} = \text{intensiteit} * \text{weglengte autosnelweg} * \text{kencijfer autosnelweg} * \text{wegvakcorrectiefactor autosnelweg} + \text{intensiteit} * \text{weglengte autoweg} * \text{kencijfer autoweg} * \text{wegvakcorrectiefactor autoweg}.$

Eén van de doelen van kencijfers is om vergelijkingen mogelijk te maken tussen verschillende typen wegen. In deze vergelijking van flessenhalzen worden kencijfers gebruikt om te beoordelen of de bekende verschillen tussen de typen zich ook manifesteren bij de flessenhalzen.

De kencijfers zijn opgebouwd uit een aandeel dat op de wegvakken betrekking heeft en een aandeel dat op de kruispunten betrekking heeft. In Dit onderzoek zijn de kencijfers van 1995 gebruikt en gecorrigeerd met de (voorlopige) aandeelcorrectiefactor voor wegvakken van 1998. Er zijn dus in de vergelijking geen kruispuntongevallen betrokken. Ter vergelijking worden in *Tabel 2.1* alle kencijfers van 1995 weergegeven. De kencijfers in deze tabel zijn de kencijfers voor wegvakken en kruispunten samen.

Wegtype	lo/vp	sl/lo	do/100sl
AS	0,05	1,49	4,41
AW	0,08	1,45	7,01
WG	0,25	1,34	4,59
WA	0,51	1,26	4,86
VA	1,27	1,09	1,37
WS	0,73	1,31	1,03
WE	0,15	1,16	1

Tabel 2.1. *Kencijfers voor Nederland van 1995. Bron: BIS-V*

Toelichting bij *Tabel 2.1*:

lo/vp	aantal letselongevallen per verkeersprestatie in miljoen motorvoertuigkilometers;
sl/lo	aantal slachtoffers per letselongeval;
do/100sl	aantal doden per 100 slachtoffers;
AS	autosnelweg buiten de bebouwde kom;
AW	autoweg buiten de bebouwde kom;
WG	weg met geslotenverklaring buiten de bebouwde kom;
WA	weg voor alle verkeer buiten de bebouwde kom;
VA	verkeersader binnen de bebouwde kom;
WS	woonstraat binnen de bebouwde kom;
WE	woonerf binnen de bebouwde kom.

De kencijfers kunnen worden opgesplitst in een wegvak- en een kruispunt-component. Om die te verkrijgen moet het kencijfer vermenigvuldigd worden met een correctiefactor. Per wegtype tellen de correctiefactoren voor wegvakken en kruispunten samen op tot één. In dit onderzoek is gebruikt gemaakt van de wegvakcorrectiefactor voor autosnelwegen van 0,816 en wegvakcorrectiefactor voor eenbaans-autowegen van 0,557 (Janssen, 2000).

2.3.2. Berekening met kencijfers

In de kencijfermethodiek wordt gebruik gemaakt van verkeersintensiteiten. Daarom moeten voor de zes locaties de verkeersintensiteiten bekend zijn. Deze intensiteiten worden gemeten met zogenaamde 'telpunten'. De intensiteiten die hier zijn gebruikt, zijn de gemiddelde weekdagintensiteiten op de telpunten in de buurt van de flessenhals voor beide richtingen samen. De data uit deze telpunten zijn door de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat toegankelijk gemaakt (gegevens uit MTR + Wegwerk). Niet alle telpunten zijn echter gedurende het gehele jaar actief, wel vaak een aantal maanden per jaar. Met behulp van de beschikbare gegevens is met behulp van een weekdaggemiddelde een jaartotaal per beschouwd telpunt bepaald (*Tabel 2.2*).

1183 71	Bemmel A15	Zurich N31	Midlum N31	Lunteren N30	Assen N33	Hoogeveen Holsloot A37
1990	16000	8700	8700	13838	9946	9484
1991	16350	8820	8820	14511	10280	9020
1992	16700	9224	9224	15217	10753	10097
1993	17050	8578	8578	15956	11037	10106
1994	17400	9099	9099	16732	11403	10207
1995	17750	9904	9904	17500	11630	10912
1996	18100	8930	8930	18298	11648	-
1997	18450	10015	10015	19518	12581	-
1998	18800	9681	9681	20305	13021	-
1999	19150	9713	9713	21063	13604	-

Tabel 2.2. Weekdagintensiteiten bij de zes beschouwde flessenhalsen voor beide rijrichtingen samen. De vet en cursief weergegeven intensiteiten zijn geschatte waarden.

In Hoogeveen bleek in 1998 de flessenhals opgeschoven te zijn. Het verkeer werd echter al vanaf 1996 opmerkzaam gemaakt op de op handen zijnde verandering. Daarom zijn de intensiteitsgegevens van 1996-1999 niet in de berekeningen meegenomen.

Het RWS-telpunt bij Bemmel ligt voor een belangrijke splitsing naar Arnhem en Nijmegen. De daar bepaalde intensiteit is beduidend hoger dan die op de flessenhals. Aan de hand van tellingen van de provincie Gelderland (1998) en telefonische navraag bleek de intensiteit op de flessenhals inderdaad lager te liggen. Daarom zijn de provinciale waarden in plaats van de RWS-waarden in *Tabel 2.2*. terug te vinden. In de loop van de tijd is hier een rijbaanscheiding aangebracht, een verkeerskundige voorziening die de veiligheid bevordert.

Het telpunt voor de N31 ligt bij Midlum. Voor de berekening van het verwachte aantal ongevallen is voor beide flessenhals-locaties (Midlum en Zurich) dezelfde intensiteit gebruikt.

Niet voor alle jaren, waarvan ongevalsgegevens voorhanden waren, waren alle intensiteitsgegevens bekend. De vet en cursief weergegeven intensiteiten zijn gereconstrueerd op basis van gegevens die wél bekend

zijn. Door deze bekende gegevens is een (vaak exponentiële) trend gefit om de onbekende intensiteitsgegevens te schatten.

Vervolgens zijn de geregistreerde ongevallen uit de periode 1990-1999 (t/m derde kwartaal) vergeleken met de verwachte aantallen, die zijn berekend met de landelijke kencijfers en de bekende en geschatte intensiteiten. In *Tabel 2.3* worden deze gegevens voor de zes flessenhalslocaties weergegeven. Voor de vergelijking worden alleen de ongevallen met letsel (inclusief die met fatale afloop) meegenomen. Het aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade (UMS) is slechts ter vergelijking weergegeven. De weglengtes voor en na de eigenlijke overgang geven aan dat voor deze vergelijking een groot venster om de overgang is genomen (zie § 2.3).

Om te beoordelen of het aantal geregistreerde ongelukken significant afwijkt van het verwachte landelijke gemiddelde op basis van het kencijfer, is met de Poisson-verdeling getoetst. De lage aantallen ongevallen lenen zich niet voor een normale (Gaussische) benadering. In de Poisson-vergelijking staat Ekc voor de gemiddelde verwachting van het aantal ongevallen, en k voor het werkelijk geregistreerde aantal ongevallen over de beschouwde periode. Er is getoetst bij een 95% eenzijdige betrouwbaarheid. Dit betekent dat wanneer de cumulatieve kans op een geregistreerd aantal ongevallen (van $k = 0$ tot k) minder dan 0,05 of meer dan 0,95 is, er sprake is van een significant verschil. De gebruikte Poisson-vergelijking is:

$$P(X = k) = e^{-Ekc} \cdot \frac{Ekc^k}{k!}$$

In de onderste rij van *Tabel 2.3* is zo weergegeven of het aantal geregistreerde ongevallen wel of niet significant afwijken van het verwachte, berekende aantal. Het blijkt dat de aantallen ongevallen in Midlum, Hoogeveen en Assen significant afwijken van de landelijke gemiddelden bepaald met de kencijfers.

	Bemmel A15	Zurich N31	Midlum N31	Lunteren N30	Assen N33	Hoogeveen Holsloot A37
Geregistreerd - fataal	3	3	1	3	0	0
Geregistreerd - letsel	6	6	9	5	2	6
Totaal fataal + letsel	9	9	10	8	2	6
Geregistreerd UMS	20	31	87	33	28	60
Verwachte ongevallen	9,052	6,931	5,984	11,002	7,382	3,301
Lengte autosnelweg (km)	0,5	1	0,5	1	1	0,5
Lengte autoweg (km)	1,9	2,5	2,5	2	2	2
Verskil	Niet significant	Niet significant	Significant	Niet significant	Significant	Significant

Tabel 2.3. *Vergelijking van het aantal werkelijk geregistreerde ongevallen op zes flessenhalslocaties met het aantal verwachte ongevallen (letsel + fataal) op basis van landelijke kencijfers. Venster is groot genomen.*

Naast het ruime venster (*Tabel 2.3*) is ook nog een kleiner venster om de overgang bekeken (*Tabel 2.4*). Hierbij was de voorwaarde dat het verwachte aantal ongevallen (afgerond) drie of meer moet zijn, zodat een eventuele waarde nul voor het geregistreerde aantal ongevallen hiervan significant kan afwijken. Bij waarden lager dan 3 bestaat die mogelijkheid niet meer en kan een locatie niet meer significant (on)veiliger blijken. Hierdoor blijkt het niet mogelijk ook Hoogeveen van een kleiner venster te voorzien. Dit 'minimale' venster is er een van 500 meter voor en 1000 meter na de flessenhals.

	Bemmel A15	Zurich N31	Midlum N31	Lunteren N30	Assen N33
Geregistreerd - fataal	1	1	0	2	0
Geregistreerd - letsel	2	4	6	4	1
Totaal fataal + letsel	3	5	6	6	1
Verwachte ongevallen	5,776	3,04	3,04	5,673	3,802
Vershil	Niet significant	Niet significant	Significant	Niet significant	Niet significant

Tabel 2.4. Vergelijking van het aantal werkelijk geregistreerde ongevallen op zes flessenhals-locaties met het aantal verwachte ongevallen (letsel + fataal) op basis van landelijke kencijfers. Het venster is klein genomen: 0,5 km autosnelweg en 1 km autoweg.

De locaties bij Bemmel en bij Lunteren staan toe om een nog kleiner venster te nemen, 500 meter voor en na de eigenlijke overgang, maar ook die combinatie geeft geen significant verschil tussen geregistreerd en verwacht aantal ongevallen.

Ook zijn voor de zes locaties alleen de ongevallen op de autoweg, na de overgang, vergeleken. Bij het kleinst mogelijk verwachte aantal (3) ongevallen gaat het dan om 1 à 1,4 km autoweglengte. Voor geen van de wegen zijn significante verschillen gevonden.

Uit het voorgaande blijkt dat het met behulp van de kencijfers niet mogelijk de omvang van de 'invloedssfeer' van de flessenhals te bepalen. Deze invloedssfeer is de totale weglengte voor en na de overgang waarop een invloed van de flessenhals merkbaar is.

Vergelijking van de flessenhalzen met het landelijke beeld laat zien dat de locatie bij Midlum (N31) significant afwijkt in het aantal ongevallen. Het geregistreerde aantal ligt, bij verschillende venstergrootten, hoger dan het verwachte.

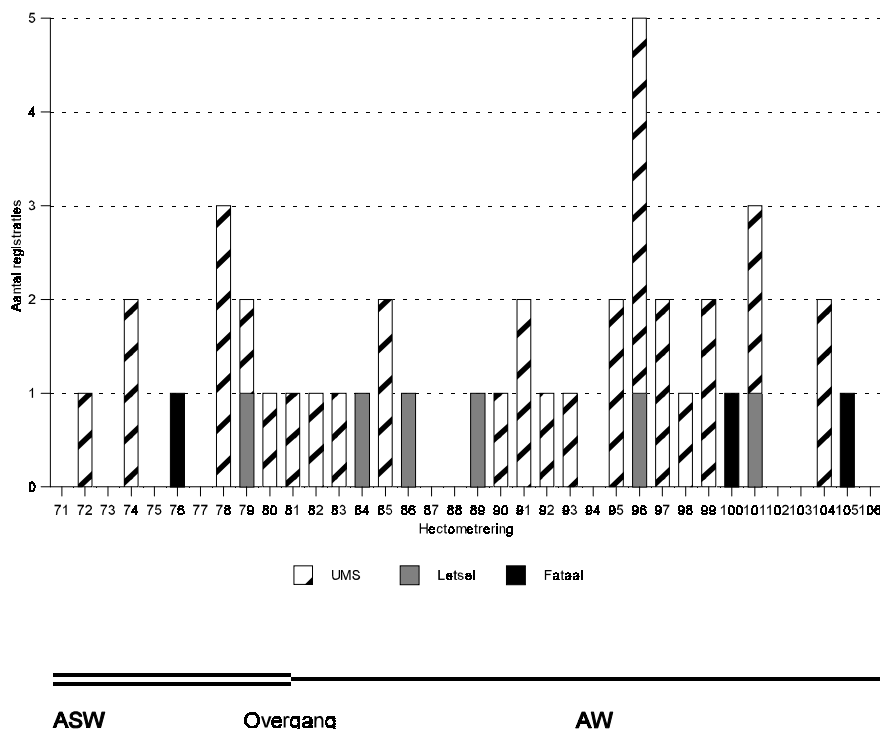
In Assen (N33) is de afwijking bij sommige vensterafmetingen ook significant, alleen is het geregistreerde aantal daar lager dan het aantal bepaald met de landelijke kencijfers.

2.4. De visuele onderzoeksbenadering

De locaties van de flessenhalzen zijn ook bezocht. Naar aanleiding hiervan volgt in de deze paragraaf een kort verkeerskundig commentaar. De vormgeving van de verschillende flessenhalzen blijkt uiteen te lopen.

De volgende paragrafen geven de verdeling van de ongevallen over de flessenhalzen grafisch weer. In de kencijfermethodiek worden UMS-ongevallen niet meegewogen. Toch kan ook de verdeling van de UMS-ongevallen over de flessenhalzen een indruk geven van de verkeersveiligheid. In de *Afbeeldingen 2.1 t/m 2.6* worden zowel de UMS- als de letselongevallen (zonder dodelijke afloop) en de ongevallen met een dodelijke afloop weergegeven. De ongevalsantallen zijn afgezet tegen de hectometreering.

2.4.1. Ongevallen te Zurich N31



Afbeelding 2.1. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Zurich (N31), onderscheiden naar ongevalsafloop.

In Afbeelding 2.1 zijn de ongevallen weergegeven van 1 km voor en 2,5 km na de flessenhals te Zurich, die zich bevindt bij hectometerpaal 81. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 71 is het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevindt zich in de figuur rechts van hectometerpaal 81.

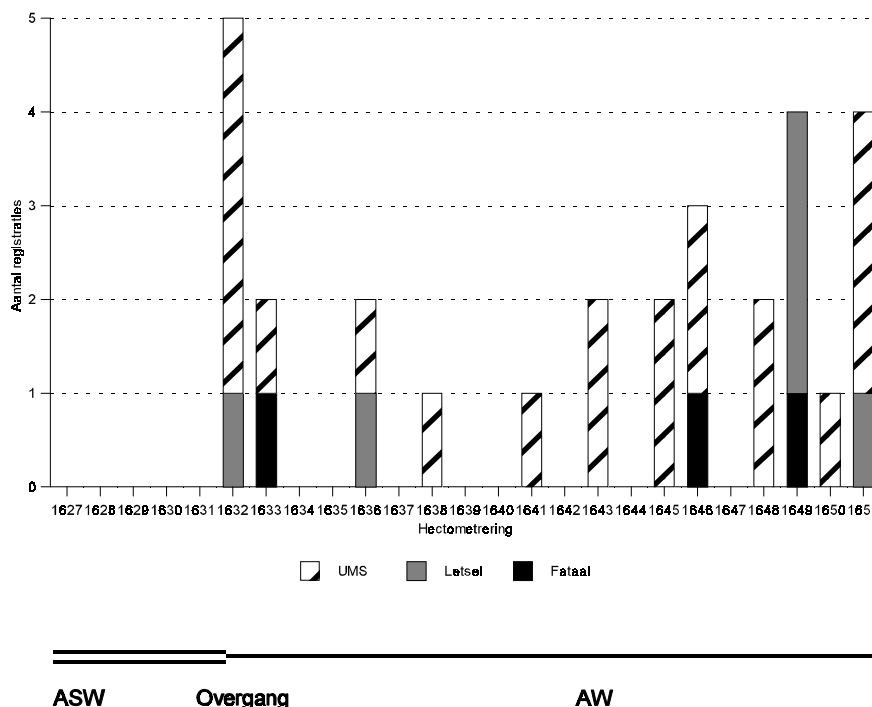
Wanneer de 'Zurich'-flessenhals van de N31 vanuit het westen benaderd wordt, is weliswaar sprake van een rijbaanscheiding, maar deze is voorafgegaan door het knooppunt 'Zurich'. Er is daarom geen sprake van een monotoon verkeersbeeld voorafgaand aan de eigenlijke overgang.

Vlak voor de eigenlijke overgang bevindt zich nog een afslag naar de kern van Zurich. De bebording geeft al aan dat de linker rijstrook af gaat vallen, (inclusief ritsborden) maar om af te slaan moet men toch links voorsorteren.

Opvallend in het proefgebied is dat na de overgang mag worden ingehaald. Bij hectometerpaal 91 is er sprake van een oversteekmogelijkheid voor kruisend verkeer; hier geldt wel een afslagverbod. Ook is sprake van een bushalte die in een haven is gesitueerd.

Er is verlichting op het kruispunt met de afslag naar Zurich, hierna volgt de overgang vrij direct. Er is geen verlichting op de N31 zelf.

2.4.2. Ongevallen te Bemmeler A15



Afbeelding 2.2. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Bemmeler (N15), onderscheiden naar ongevalsafloop.

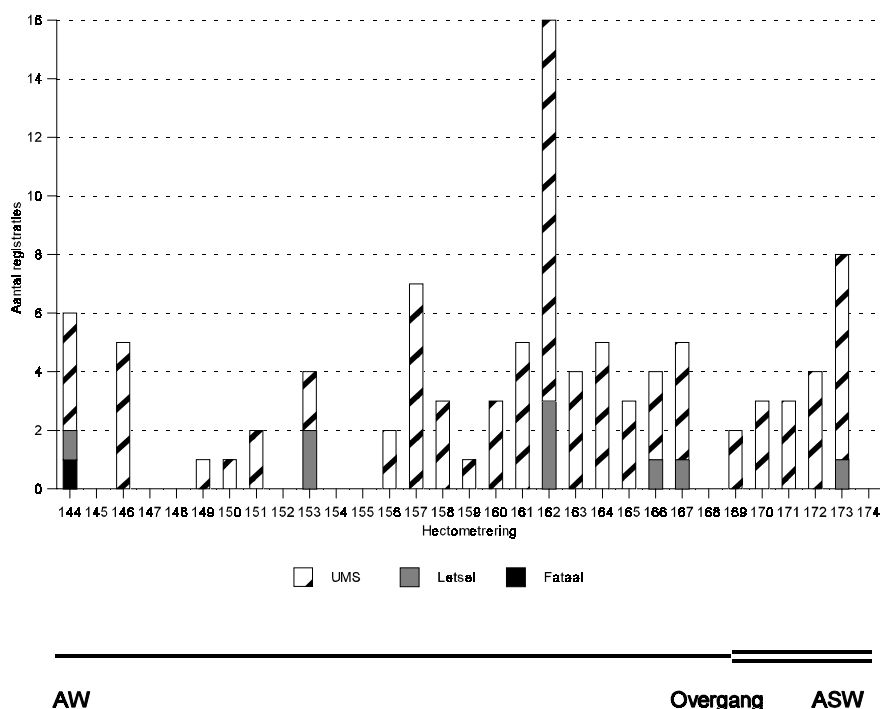
In Afbeelding 2.2 zijn de ongevallen weergegeven van 0,5 km voor en 1,9 km na de flessenhals te Bemmeler, die zich bevindt bij hectometerpaal 1632. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 1627 is het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevindt zich in de figuur rechts van hectometerpaal 1632 en is ook voorzien van een rijbaanscheiding; deze is echter overrijdbaar.

Rond de overgang zien we in Afbeelding 2.2 een ophoping van ongevallen en ook bij het einde van de autoweg vinden, voor het daar gelegen kruispunt, meer wegvakongevallen plaats dan op de rest van het wegvak.

De flessenhals bij Bemmeler wijkt duidelijk af van de andere vijf flessenhalsen. In Bemmeler is er sprake van een rijbaanscheiding op de autoweg; deze maakt het inhalen niet meer aantrekkelijk. De middenbermbeveiliging, die al in 1989 is gerealiseerd, bestaat uit een doorgetrokken dubbele markering die 80 cm uit elkaar ligt met daar tussenin trapeziumvormige flapjes die ooit voorzien waren van reflectoren; het merendeel van de reflectoren ontbreekt nu. Er is bij deze flessenhals geen afvallende linker rijstrook, zoals bij de andere flessenhalsen, maar een afsplitsing van de rechter rijstrook. Bij de overgang zelf wordt een duidelijke stuurbeweging gevraagd.

Het tracé is 'op de groei' aangelegd, met ruimte om de A15 als autosnelweg door te zetten. Er is sprake van een visuele versmalling op de zuidelijke kant van het gereserveerde tracé. Aan het einde van de autoweg bevindt zich een 'vertragingsbocht', maar ook een fietspad, hetgeen onlogisch is voor de autobestuurder.

2.4.3. Ongevallen te Midlum N31

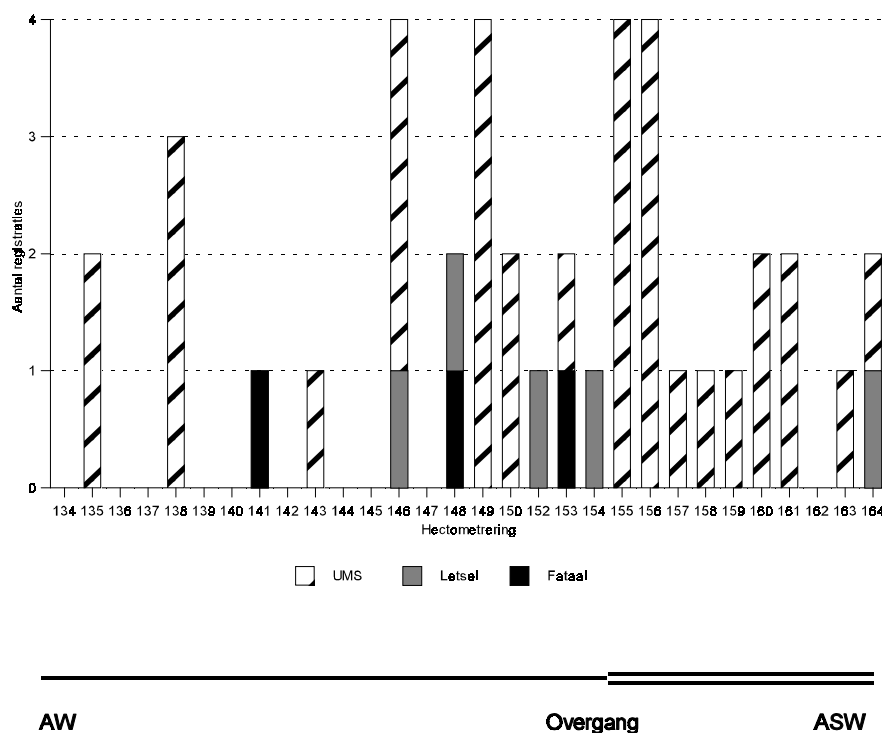


Afbeelding 2.3. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Midlum (N31), onderscheiden naar ongevalsafloop.

In Afbeelding 2.3 zijn de ongevallen weergegeven van 0,5 km voor en 2,5 km na de flessenhals te Midlum, die zich bevindt bij hectometerpaal 169. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 174 is het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevindt zich in de figuur links van hectometerpaal 169.

Bij hectometerpaal 162 is er een aansluiting. Ook is er sprake van een inhaalverbod bij de overgang. In scherp contrast met het open karakter van de A31 vanuit Franeker, is de N31 bij de flessenhals te Midlum omgeven door veel begroeiing die dicht op de rijbaan staat en die het smalle dwarsprofiel van de N31 accentueert. Er is als het ware een duidelijke karakterverandering van de weg. In de flessenhals bevindt zich ook een (aangekondigde) brug, die in tegenstelling tot de rest van het tracé wel is verlicht. Vrij snel na het afvallen van de linker rijstrook van de A31 is er nog een invoeging gesitueerd. Er is een parallelvoorziening voor langzaam verkeer.

2.4.4. Ongevallen te Lunteren N30



Afbeelding 2.4. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Lunteren (N30), onderscheiden naar ongevalsafloop.

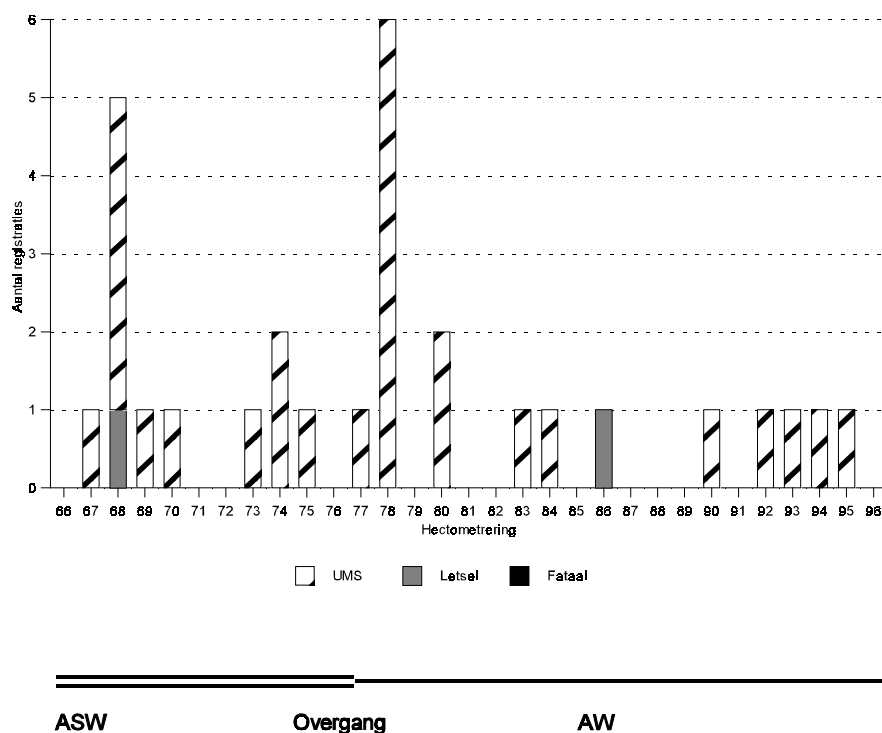
In Afbeelding 2.4 zijn de ongevallen weergegeven van 1 km voor en 2 km na de flessenhals te Lunteren, die zich bevindt bij hectometerpaal 154. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 164 is het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevindt zich in de figuur links van hectometerpaal 154.

Rondom de overgang bevinden zich ook op- en afritten. Er is geen verlichting. Er is een vooraankondiging op 1 km voor de overgang. De geldende maximumsnelheid gaat van 120 km/uur naar 80 km/uur; dit is aangegeven met een autowegbord.

De linker rijstrook op de A30 valt af. Bij het afvallen van de linker rijstrook staan er ritsborden. De snelweg verandert in een autoweg voordat de linkerstrook er geheel afgevallen is. Bij het afvallen van de linkerstrook is er ook nog een afrit.

De overgang ligt in een flauwe bocht op een door groen omzoomd viaduct. Bij de overgang zelf is verlichting aan gebracht. Na de overgang is er sprake van een inhaalverbod over de gehele autoweg.

2.4.5. Ongevallen te Assen N33



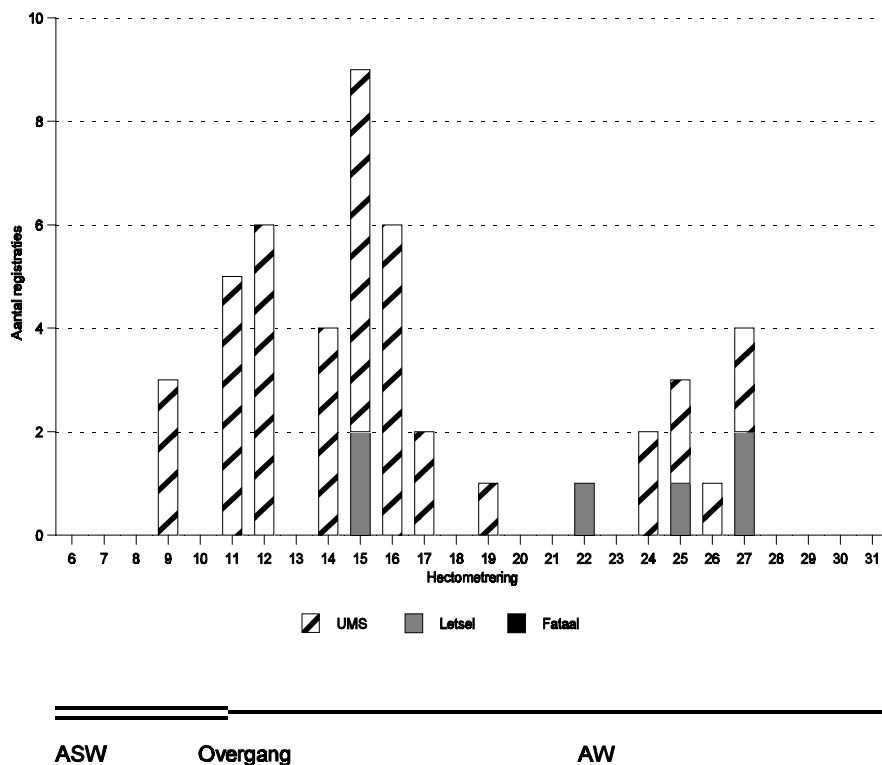
Afbeelding 2.5. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Assen (N33), onderscheiden naar ongevalsafloop.

In Afbeelding 2.5 zijn de ongevallen weergegeven van 1 km voor en 2 km na de flessenhals te Assen, die zich bevindt bij hectometerpaal 76. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 66 is het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevindt zich in de figuur rechts van hectometerpaal 76.

Bij Assen rijdt men de flessenhals op de A33 in, komend vanaf de A28 vanuit het noorden. Er is dus wel sprake van een overgang, maar voor de flessenhals heeft men de afslag vanaf de A28 naar de A33 moeten nemen. Dit vraagt, ook al vóór de flessenhals, om een hoger attentieniveau.

Voor de overgang gaat de autosnelweg over in een autoweg; de weg blijft echter er uitzien als een autosnelweg. Voor de flessenhals is er sprake van nog een invoeging. Bij de overgang zijn er vijf borden te vinden die tegenliggers aankondigen en wordt de afvallende linker rijstrook nog lang voorzien van verdrijfstrepen. Er is echter geen sprake van een vooraankondiging. Direct na de overgang is er een dubbele asmarkering. Tevens heeft de autoweg een smalle 'vluchtstrook' met daarop een visuele / fysieke verruwing van het asfalt. Het karakter van de omgeving is open. Er is geen verlichting. Er mag na enige tijd ingehaald worden en er bevinden zich verdrijfpijlen in de asmarkering van de autoweg.

2.4.6. Ongevallen te Hoogeveen A37



Afbeelding 2.6. Verdeling van het aantal geregistreerde ongevallen over de flessenhals te Hoogeveen (N37), onderscheiden naar ongevalsafloop.

In Afbeelding 2.6 zijn de ongevallen weergegeven van 0,5 km voor en 2 km na de flessenhals te Hoogeveen, die zich bevond bij hectometerpaal 11. Het autosnelweg-gedeelte vanaf hectometerpaal 66 was het deel vóór de eigenlijke overgang en voorzien van een rijbaanscheiding. De autoweg bevond zich in de figuur rechts van hectometerpaal 11.

De flessenhals is nu doorgetrokken als een autosnelweg tot aan afslag Hoogeveen-Oost. In 1996 begon het verkeer beïnvloed te worden door de werkzaamheden. Daarom zijn in de kencijferberekening en in bovenstaande grafiek de gegevens tot 1996 gebruikt. Ook nu wordt er nog aan gewerkt om de snelweg verder door te trekken naar het oosten.

2.5. Bevindingen onveiligheid flessenhalzen

Voor de jaren 1990-1999 (t/m het derde kwartaal) is het 'gemiddeld te verwachten aantal letselongevallen' uitgerekend aan de hand van landelijke kencijfers: het aantal letselongevallen per eenheid van verplaatsing. De berekening maakt tevens gebruik van de verkeersintensiteiten in de verschillende jaren en de weglengte van de betreffende wegdelen. In de berekening zijn geen kruispuntongevallen mee genomen, waardoor een correctiefactor voor wegvakken moet worden toegepast.

Voor de berekening zijn alle jaren uit de periode 1990-1999 samengenomen omdat een berekening per jaar niet betrouwbaar zou zijn. De beschouwde weglengten zijn namelijk kort en er zijn jaren waarvan er intensiteitsgegevens ontbreken; de intensiteiten zijn voor deze jaren geschat. Voor alle jaren uit deze periode is gebruikgemaakt van de kencijfers voor 1995 en van de correctiefactor voor wegvakken van 1998.

Met behulp van de Poisson-verdeling is vervolgens getoetst of de werkelijk geregistreerde ongevallen passen binnen wat 'gemiddeld' te verwachten is voor de Nederlandse wegen.

De onderzochte flessenhalzen blijken wat de vormgeving betreft onderling uiteen te lopen. Ook blijkt dat er op de vraag of flessenhalzen extra onveiligheid opleveren, geen eenduidig antwoord gegeven kan worden met de gebruikte kencijferbenadering.

Bij Midlum (N31) is er - qua vormgeving - echter wel sprake van een duidelijke flessenhals en vinden er meer ongevallen plaats dan verwacht op basis van de landelijke cijfers.

3. Onveiligheid van windhinder bij elkaar tegemoet rijdende voertuigen

3.1. Inleiding

Verondersteld wordt, dat bij het ernstig ongeval van 21 juli 1999 de luchtdrukverschillen, die gegenereerd zijn door de elkaar tegemoetkomende voertuigen, een rol kan hebben gespeeld bij het ontstaan van het ongeval. In dit literatuuronderzoek zal niet worden geprobeerd aan te tonen of dit in dit specifieke ongeluk al of niet het geval is geweest, maar wel wat voor een rol windhinder kan spelen bij soortgelijke ontmoetingen. In deze studie wordt de situatie beschouwd waarin er één zwaar voertuig, zoals een vrachtwagen of een bus, en een lichter voertuig, zoals een personenauto, betrokken zijn bij de ontmoeting.

3.2. Probleemstelling en hypothese

Op een bewegend voertuig werken aërodynamische krachten als gevolg van de snelheid van het voertuig ('rijwind'), maar ook als gevolg van natuurlijke wind. Deze twee krachten worden verondersteld van invloed te zijn bij het *inhalen* van een vrachtwagen door een personenauto. In het eerste geval (rijwind) is er sprake van beïnvloeding van de personenauto door de vrachtwagen door de luchtverplaatsing. In het tweede geval functioneert de vrachtwagen als een tijdelijk windscherm, waardoor een tijdelijke onderbreking van de natuurlijke winddruk kan ontstaan (Brown, 1973; Beauvais, 1969; Wouters, 1979; Smith, 1973). Al deze krachten op het voertuig vragen om anticipatie, een reactie en correctie van een bestuurder.

De hypothese die voortkomt uit het ernstige ongeval van 21 juli 1999 is dat dezelfde aspecten van windhinder ook een rol spelen in een situatie waarin een vrachtwagen en een personenauto elkaar *tegemoet komen*.

3.3. Aspecten van windhinder

Aan de hand van literatuur zijn indicatoren gezocht die van belang zijn om de effecten van windhinder op elkaar tegemoetkomende voertuigen te beschrijven. Hierbij is gekeken naar twee soorten windhinder, hinder van luchtverplaatsing als het gevolg van het rijden van een voertuig, de rijwind, en windhinder als het gevolg van natuurlijke wind.

De invloed die voertuigen op elkaar hebben is voornamelijk af te leiden uit de (verandering in) laterale positie, de afstand tot de rand van de verharding, van de voertuigen in het dwarsprofiel. De laterale positie van voertuigen is echter ook in ongestoorde situatie niet constant. Ieder voertuig beweegt met een zogenaamde 'vetergang', met andere woorden een slingering over de weg. Deze slingering is gewoonlijk langgerekt en geen wezenlijk probleem voor de verkeersveiligheid. Een probleem ontstaat wanneer een voertuig zich buiten de lijnen die zijn rijbaan markeren beweegt en daarbij andere voertuigen hindert of van de weg af raakt.

Een tegemoetkomend voertuig kan ook van invloed zijn op de psychische inspanning van de bestuurder. Deze inspanningen kunnen bijvoorbeeld aan de hand van een elektrocardiogram of aan de hartslag (slagen per minuut) afgemeten worden (Sanders & McCormick, 1987). Aannemelijk is, dat ook hier de laterale afstand tot het tegemoetkomende voertuig een belangrijke rol zal spelen.

Deze studie zal zich meer richten op de (verandering in) laterale posities dan op de psychische belasting / inspanningen van de bestuurder. Hiervoor is gekozen omdat de laterale positie het resultaat is van de inspanningen van de bestuurder die reageert op bijvoorbeeld wind en andere voertuigen.

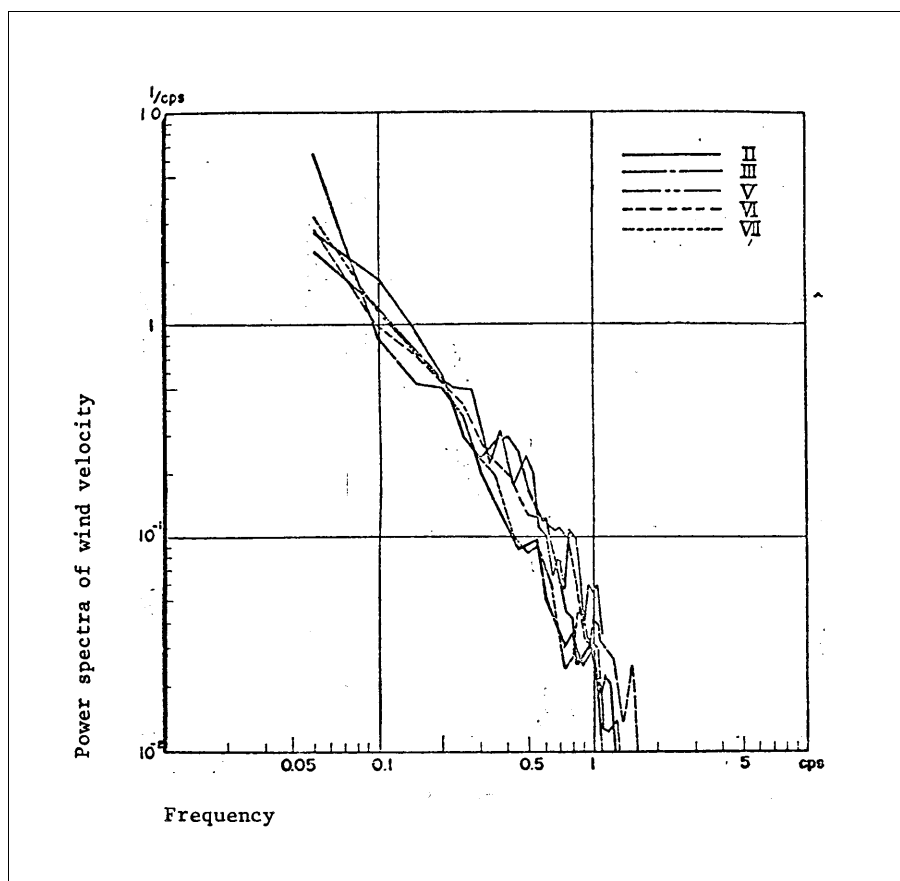
In de volgende paragrafen worden de verschillende aspecten van windhinder op voertuigen besproken.

3.3.1. *Karakter van wind*

Het karakter van wind is vlagerig, turbulent en niet constant van kracht en richting. Openheid van het landschap en de textuur van het landschap spelen bij de mate van vlagerigheid en turbulentie een belangrijke rol. Een open landschap (of open zee) geeft een minder vlagerig windbeeld dan een ruw landschap. Boven een ruw landschap is er een lagere gemiddelde windsnelheid, maar wel meer vlagerigheid.

Met toenemende hoogte boven de grond neemt ook de windsnelheid en de windkracht toe. De snelheid en richting van de wind variëren in de tijd. Hierbij is de wegomgeving meer van invloed op de vlagerigheid van de wind dan de 'gewone statistische ruis' van de wind (Smith, 1973).

De vlagerigheid van de wind speelt vooral een rol bij de lagere frequenties van de vlagen. De vlagen met een hogere frequentie hebben namelijk minder vermogen. Laagfrequente veranderingen van natuurlijke wind onder 1 Hz hebben de grootste amplitudes en dus de hoogste intensiteit, en zijn het meest van invloed op snel rijdende auto's (zie *Afbeelding 3.1*; Hayashi & Furusho, 1966).



Afbeelding 3.1. Het vermogenspectrum van de windsnelheid, bepaald ter hoogte van het aërodynamische drukpunt van voertuigen op verschillende plaatsen van een in een homogene omgeving gelegen autosnelweg (Hayashi & Furusho, 1966).

3.3.2. Luchtverplaatsing rond een rijdend voertuig

Er zijn twee componenten aan de luchtverplaatsing om een rijdend voertuig: een constante met het voertuig meebewegende component en een in korte tijd variërende component. De constante component is het belangrijkste als storende factor voor andere voertuigen (Wouters, 1979). De storende (constante) luchtverplaatsing om een rijdend voertuig heeft een patroon: een drukveld aan de kop en een trekkracht in het zog. Deze constante component wordt vooral bepaald door de rijnsnelheid en de vormgeving van het verstorende voertuig.

3.3.3. Reactie van de bestuurder

Een bestuurder reageert op wind en/of de voertuigbewegingen die daarvan het gevolg zijn. Dit wordt compensatie genoemd. Windvlagen met een frequentie in de orde van 0-0,5 Hz kunnen door een bestuurder goed opgevangen worden. Windvlagen in de orde van 0,5-1 Hz kunnen niet zonder moeite opgevangen worden en bij een laag-frequentie boven de 1 Hz wordt het voor de bestuurder bijna onmogelijk een windvlaag op te vangen. Alerten bestuurders reageren beter op windvlagen; ervaring speelt

ook een verbeterende rol. Minder ervaren bestuurders kunnen overcompenseren bij windvlagen van 0,5-1 Hz. Bij het corrigeren van de koers van het voertuig spelen reactietijd en de omvang van de stuurcorrectie een rol.

Bij elkaar tegemoet komende voertuigen is de windfrequentie juist hoog.

Een bestuurder reageert op hem tegemoet komende vrachtwagens (Sanders & McCormick, 1987). De inschatting van de laterale afstand tot de vrachtwagen is daarbij, wanneer belijning zou ontbreken, niet eenvoudig. Maar wanneer er wel belijning aanwezig is kan een bestuurder weten wanneer hij zich ver genoeg van de hem tegemoet komende vrachtwagen bevindt. In veel van de gevallen wijkt de bestuurder van een personenwagen uit, weg van de tegemoet rijdende vrachtwagen. Hierbij kijkt een bestuurder langs de tegemoet komende vrachtwagen. Uit onderzoek van Sanders & McCormick (1987) blijkt dat een enkele onervaren bestuurder juist in de richting van de hem tegemoet rijdende vrachtwagen stuurt. Dit is vermoedelijk een compensatie van een eerdere te royale uitwijking.

Wanneer een bestuurder reageert op een gebeurtenis dan kost ook die reactie zelf enige tijd. Deze reactietijd is korter wanneer de bestuurder de gebeurtenis verwacht, dan wanneer er plotseling iets gebeurt (de 'stimulus') waarop hij moet reageren. Een stimulus-reactietijd wordt zo opgebouwd uit korte aaneensluitende tijden. Deze zijn het vallen van de stimulus, dan de reactietijd en vervolgens de actieve stuurtijd. Over het algemeen duurt de reactie op de stimulus tot de maximum uitwijking van het voertuig 1,5 tot 3 seconden (Sanders & McCormick, 1987).

3.3.4. *Windgevoeligheid van het voertuig*

Er zijn veel factoren die de windgevoeligheid van een voertuig bepalen. Dit zijn voornamelijk voertuigaërodynamica en rolweerstand, maar ook stroefheid, driftstijfheid en conditie van de banden, de massaverdeling en de locatie van het zwaartepunt van het voertuig.

Een rijdend voertuig kan door de wind een aantal richtingen op worden bewogen, met koersverandering en positieverandering als gevolg. Vanwege de asymmetrische aangrijping op het voertuig, wordt door de wind een moment geïntroduceerd; de wind wil dus een voertuig behalve translateren ook roteren. Zowel de grootte als de tijdsduur van het aangrijpende moment bepalen de uiteindelijke uitwijking. Daarom vraagt ook gewoon rijden in een harde wind om 'actief' sturen.

3.4. **Windhinder: samenstel van factoren**

Alle aspecten van windhinder bij elkaar ontmoetende voertuigen, die genoemd zijn in § 3.3, staan in een relatie tot elkaar. Bij een dergelijke ontmoeting speelt het krachten spel een belangrijke rol, maar ook de reactie van de bestuurder hierop speelt een cruciale rol in het uiteindelijke verloop van de gebeurtenis. In algemene zin kan gezegd worden dat het aandeel van de ongevallen als gevolg van windhinder toeneemt bij toenemende wind.

Voertuigslingeren als gevolg van wind met een vlagerigheid tot ongeveer 1 Hz kunnen door de bestuurder gecorrigeerd worden. Boven de 1 Hz

neemt de intensiteit van de wind af, maar wordt ook de tijd tussen de vlagen zo kort dat niet meer tijdens een vlaag gecorrigeerd kan worden. Correctie van bewegingen tussen 0,5 en 1 Hz is moeilijk voor onervaren bestuurders en kan verkeerd stuurgedrag opleveren (Wouters, 1979).

Aangenomen mag worden dat grote, maar ook plotselinge windsterkten aanzienlijke koerswijzigingen kunnen veroorzaken. Daarbij zullen windsnelheden lager dan 3 m/s geen invloed hebben op het ontstaan van ongevallen (Wouters, 1979).

Een 'plotseling' hogere positie van een auto resulteert in een toename van blootstelling aan hogere windsnelheden. Dit kan het geval zijn bij het rijden over een brug die hoger en opener in het landschap ligt dan de rest van de weg. Deze situatie is 'nieuw' voor de bestuurder, die nu minder goed kan anticiperen.

Inhalen of ontmoeten

Bij elkaar inhalende voertuigen, waarbij de natuurlijke zijwind wordt onderbroken, blijkt de voertuigvorm van zowel de vrachtwagen als de personenwagen een belangrijke rol te spelen in de mate van windhinder. Verschillende voertuigvormen geven laterale krachten van verschillende intensiteit en aard. In de literatuur wordt een aanname gedaan over de relatie tussen de laterale afstand en de kracht: hoe kleiner de laterale afstand, hoe groter de kracht (Brown, 1973).

De grootte van de laterale kracht (zonder zijwind) neemt evenredig toe met de *snelheid* in het kwadraat van het verstorende voertuig, en lijkt niet afhankelijk te zijn van de snelheid van het verstoorde voertuig (Brown, 1973; Colin, 1969).

De kracht op het verstoorde voertuig staat ook in een evenredige relatie met het effectieve *frontale oppervlak* van de verstoorde auto. Door de luchtdrukverschillen ontstaan er veranderingen in positie en koers van het verstoorde voertuig. Derhalve is de wegbreedte, de ruimte die er is om te manoeuvreren, van belang.

Naast het frontaal effectieve oppervlak spelen ook *vorm en afmetingen* van het verstoorde voertuig een rol. Deze factoren bepalen mede de locatie van het zwaartepunt van de personenauto, en dus, door het aangrijpen van de windkracht ten opzichte van dit zwaartepunt, het moment dat op de personenauto wordt uitgeoefend.

De kracht is kwadratisch evenredig met de *luchtsnelheid* ten opzichte van het voertuig.

Maar ook de *massaverschillen* tussen de personenauto en de vrachtwagen zijn van belang. Hoe groter de massa van de vrachtwagen ten opzichte van de personenauto, hoe groter de invloed.

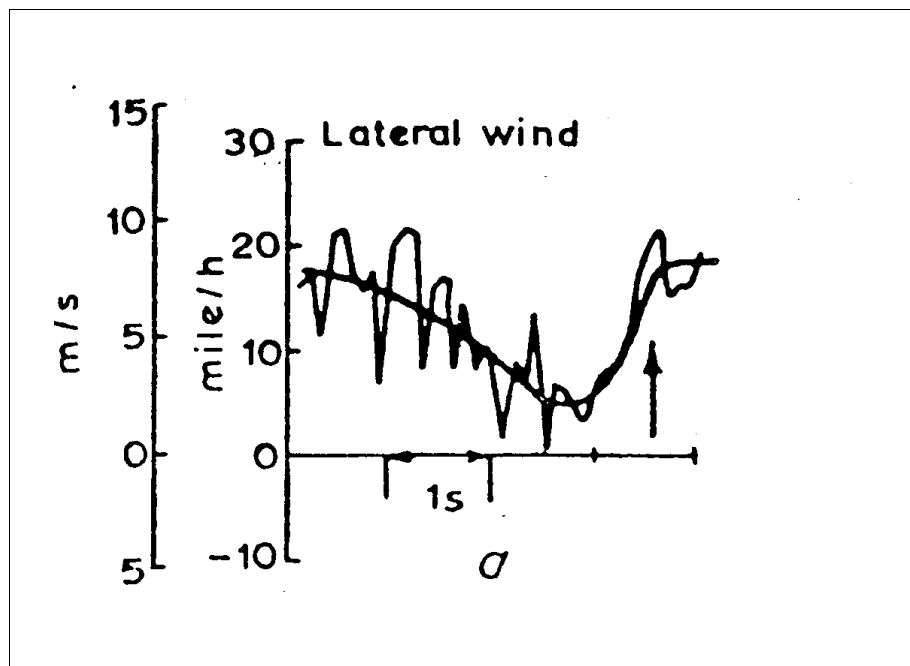
Rijdende vrachtwagens en bussen veroorzaken aan de lizijde een verschil in de snelheid van de natuurlijke wind ten opzichte van de ongestoorde omgeving. Daarnaast creëert een bus of vrachtwagen een boeggolf en een kielzog. De vrachtwagen kan zo gezien worden als een windscherm. Het windscherm loopt, wanneer het gepasseerd wordt, door achter het verstorende voertuig, met grofweg de hoek die de wind en het voertuig maken (Brown, 1973). De wind heeft ook niet meteen weer een constante sterkte, maar kan pas na enkele autolengtes weer hersteld zijn.

De windhoek en de snelheden van verstorende en verstoorde voertuigen zijn belangrijke bepalende factoren voor de invloed van de zijwaartse kracht (Brown, 1973).

De grootte van de storing neemt toe met de rijnsnelheid. Wanneer de voertuigen een hogere snelheid hebben, neemt de druk toe en zijn de krachten en momenten hoger.

De verstoring van een personenauto bij het inhalen van voertuigen 'zonder' natuurlijke zijwind, is vrij direct. De piek in de verstoring correleert met de laterale verstoring van het inhalende voertuig (Weir, 1973). Bij inhaal-situaties blijkt de zijwind veel belangrijker dan de rijwind (Friesz et al., 1973). De invloed van de rijwind van een vrachtwagen of bus op een inhalende personenauto is echter beperkt. Zijwind is alleen van invloed op een inhalende personenauto als de verstorende vrachtwagen zich bovenwinds van de verstoorde personenauto bevindt. Zie hiervoor ook *Afbeelding 3.2*.

Bij inhalen en windstil weer is de grootste piek in de verstoring een laterale verplaatsing van maximaal 15 cm van de bus vandaan.



Afbeelding 3.2. Verandering (gemeten en interpretatie) van de windsnelheid gemeten op een personenauto (voertuig "a") bij het benedenwinds inhalen van een vrachtwagen. De pijl geeft de voorkant van de vrachtwagen aan (Smith, 1973)

Anders dan bij inhalen, is bij het ontmoeten van een vrachtwagen en een personenauto de tijdsduur van het gedeeltelijk ontbreken van de zijwind zeer kort van duur. Het effect van de tijdelijk verminderde windkracht op de personenauto is daardoor laag en is doorgaans zonder consequenties (Friesz et al., 1973).

3.5. Bevindingen onveiligheid windhinder

Uit de literatuurstudie is gebleken dat de invloed van de rijwind van een vrachtwagen of bus op een *inhalende* personenauto beperkt is. Natuurlijke zijwind is alleen van invloed op een inhalende personenauto als de verstorende vrachtwagen zich bovenwinds van de verstoorde personenauto bevindt.

Wanneer een personenauto een hem *tegemoet rijdende* vrachtwagen passeert is, anders dan bij inhalen, de gedeeltelijke onderbreking van de zijwind zeer kort.

Een korte blootstelling van een voertuig aan een 'verstorend' moment is doorgaans slechts van beperkte invloed op de koers van het verstoorde voertuig. Daarbij komt dat ook het vermogen en dus het effect van een zeer kort durende windvlaag beperkt is. Er worden daarom geen problemen verwacht bij de besturing.

Het ontmoeten van een vrachtwagen uit tegengestelde richting heeft in het algemeen geen consequenties voor een personenauto.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1. Onderdeel flessenhalzen

Drie van de zes onderzochte locaties wijken wat het aantal *geregistreeerde* fatale en letselongevallen betreft, significant af van het *verwachte* aantal ongevallen op grond van de landelijke kencijfers voor auto(snel)wegvakken.

Bij Midlum (N31) ligt het aantal geregistreeerde letselongevallen, inclusief de fatale ongevallen, significant hoger dan verwacht kan worden op basis van de landelijke kencijfers. Het is in dit onderzoek niet gelukt om met behulp van de kencijfers de invloedssfeer, voor en na de overgang, van de flessenhals te bepalen.

Ook in Assen (N33) wijken de aantallen bij sommige vensterafmetingen significant af, alleen is daar het geregistreeerde aantal ongevallen juist lager dan het verwachte aantal. Een verklaring kan zijn dat deze flessenhals vlak na een gewone aansluiting ligt en diverse andere elementen bevat die het attentieniveau van de bestuurder verhogen.

In Hoogeveen (N37, A37) wordt eveneens een significante afwijking gevonden. Het aantal geregistreeerde ongevallen is hier hoger dan het aantal verwachte. In verband met de werkzaamheden om de autosnelweg door te trekken, zijn voor de flessenhals 'Hoogeveen' alleen de gegevens van 1990-1996 gebruikt. In de periode nadat het stukje autoweg autosnelweg is geworden, hebben zich geen letselongevallen meer voorgedaan.

De aanleiding voor deze studie was een botsing op de N31 tussen voertuigen uit tegenovergestelde richtingen. Deze was mogelijk omdat er geen fysieke scheiding is tussen de twee rijrichtingen van de N31. De N31 is gecategoriseerd volgens 'duurzaam-veilig' om ingericht te worden als een stroomweg. Derhalve wordt aanbevolen een fysieke, harde rijbaanscheiding aan te brengen die botsingen tussen voertuigen uit tegenovergestelde richting kan voorkomen. De 1x2-autoweg zou dan bijvoorbeeld ingericht kunnen worden als een 2x1-stroomweg met twee rijbanen en één rijstrook per rijrichting. Hierbij worden frontale conflicten uitgesloten en snelheden verlaagd.

4.2. Onderdeel windhinder

Uit de literatuurstudie is gebleken dat de invloed van de rijwind van een vrachtwagen of bus op een inhalende personenauto beperkt is. Zijwind is alleen van invloed op een inhalende personenauto als de verstorende vrachtwagen zich bovenwinds van de verstoorde personenauto bevindt.

Wanneer een personenauto een hem tegemoet rijdende vrachtwagen passeert is, anders dan bij inhalen, de gedeeltelijke onderbreking van de zijwind zeer kort. Het effect van de tijdelijk verminderde windkracht op de personenauto is daardoor klein en heeft in het algemeen geen consequenties.

Literatuur

- BIS-V, *Beleidsinformatie systeem verkeersveiligheid*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Brown, G.J. (1973). *Aerodynamic disturbances encountered in highway passing situations*. Society of Automotive Engineers, Inc. SAE, New York.
- Beauvais, F.N. (1969). *Transient aerodynamic effects on a parked vehicle caused by a passing bus*. Ford Motor Company, Michigan, USA.
- Colin, P.E. (1969) *Impulsive pressures in the train passing problem*. Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgium
- Friesz, T. L. et al. (1973). *Summary of staff and contract research on safety of wide buses*. Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Janssen, S.T.M.C. (2000). *De verkeersonveiligheid van duurzaam-veilige wegcategorieën; Schatting van duurzaam-veilig kencijfers op basis van veranderingen in ongevalspatronen*. Concept-rapport. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Hayashi, M.& Furusho, H. (1966). *The response of automobile against a gust*. In: Proceedings 11. Internationaler Automobiltechnischer Kongreß 12.-16. Juni 1966, München.
- Provincie Gelderland (1998). *Gelders verkeer 1997* Provincie Gelderland Dienst Wegen, Verkeer en Vervoer. Arnhem.
- Sanders, M.S. & McCormick, E.J. (1987). *Human factors in engineering and design*. California State University, Northridge.
- Smith, N.P. (1973) *Windgusts measured on high-speed roads*. Proceedings Institution of Mechanical Engineers, Vol. 187 30/73.
- Weir, D.H. (1973). *Driver/Vehicle control and performance in the presence of aerodynamic disturbances from large commercial vehicles*. System Technology Inc. Hawthorne, California.
- Wouters, P.I.J. (1979). *Een windafhankelijke adviessnelheid voor het wegverkeer op de moerdijkbrug*. R-79-20. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg.

Overige literatuur

CROW (1997). *Handboek categorisering wegen op duurzaam veilige basis* Publicatie 116. Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechiek CROW, Ede.

Friesz, T.L. Trentacoste, N.P. (1973.) *Large Vehicle - Induced Aerodynamic Disturbances critique of past studies and recommendations for further research*. Federal Highway Administration, Washington D.C.

Masuda, K. et al. (1988). *Driver behavior as affected by oncoming vehicles and obstructions* Society of Automotive Engineers, Inc. SAE, International congress and exposition Detroit, Michigan.

Provinsje Fryslân (1999). *CONCEPT-PVVP FRYSLAN versie maart '99*

Takanami, K., Kitahara, T. & Sakai, T. (1971). *An analytical method to study the manoeuvrability of automobiles against side wind gust*. Bulletin of JSAE, Japan.

Weir, D.H., Wade Allen, R. (1971). *Physiological and response measurements in driving tasks*. System Technology Inc. Hawthorne, California.

Wouters, P.I.J. (1983). *Wind en wegverkeer, Bijdrage verkeerskundige werkdagen 1983*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.