Veiligheidseisen aan het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met limiet 80 km/uur

Ing. G. Schermers & ir. J.W.H. van Petegem

D-2013-2

Veiligheidseisen aan het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met limiet 80 km/uur

Aanbevelingen voor de actualisatie van het Handboek Wegontwerp

D-2013-2
Ing. G. Schermers & ir. J.W.H. van Petegem
Leidschendam, 2013
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	D-2013-2
Titel:	Veiligheidseisen aan het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met limiet 80 km/uur
Ondertitel:	Aanbevelingen voor de actualisatie van het Handboek Wegontwerp
Auteur(s):	Ing. G. Schermers & ir. J.W.H. van Petegem
Projectleider:	Ing. G. Schermers
Projectnummer SWOV:	C05.01
Kenmerk opdrachtgever:	0206-16/IK/gho
Opdrachtgever:	Stichting Fonds Collectieve Kennis - CT
Trefwoord(en):	Secondary road; traffic; safety; rural area; layout; transverse profile; design (overall design); road construction; Netherlands; SWOV.
Projectinhoud:	Richtlijnen voor wegontwerp zijn op dit moment onvoldoende onderbouwd met kennis over de feitelijke, kwantitatieve relatie tussen de kenmerken van het wegontwerp en de verkeers-veiligheid. Hierdoor kunnen de gevolgen voor de verkeersveiligheid onvoldoende worden ingeschat wanneer van de richtlijnen wordt afgeweken. De SWOV heeft in samenwerking met wegbeheerders en kennispartners de relatie onderzocht tussen de verkeers-veiligheid en de ontwerpkenmerken van het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met een limiet van 80 km/uur (GOW80). Op grond hiervan doet de SWOV aanbevelingen voor het dwars-profiel van GOW80 met het voorstel deze op te nemen in het *Handboek Wegontwerp*, wanneer dit herzien wordt.
Aantal pagina's:	126 + 13
Prijs:	€ 20,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2013

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

Enkelbaans gebiedsontsluitingswegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur (GOW80-wegen) behoren tot de onveiligste wegen in Nederland. Dit heeft te maken met een combinatie van factoren, waaronder het ontwerp en de ruimtelijke inpassing van deze wegen. Ontwerprichtlijnen dienen ertoe om een gewenst of minimaal verkeersveiligheidsniveau van wegen te waarborgen. Deze richtlijnen zijn op dit moment echter onvoldoende onderbouwd met kennis over de feitelijke, kwantitatieve relatie tussen de kenmerken van het wegontwerp en de verkeersveiligheid. Bovendien worden ontwerprichtlijnen in de praktijk lang niet altijd aangehouden. Door het genoemde gebrek aan kennis kunnen de gevolgen voor de verkeersveiligheid van dit soort afwijkingen van de richtlijnen onvoldoende worden ingeschat. Er is daarom een brede behoefte aan inzicht in de relatie tussen het wegontwerp en de verkeersveiligheid.

De SWOV heeft in samenwerking met wegbeheerders en kennispartners de relatie onderzocht tussen de verkeersveiligheid en de ontwerpkenmerken van het dwarsprofiel van GOW80-wegen (de verticale doorsnede met elementen zoals rijbanen, rijstroken, redresseerstroken, rijrichtingscheiding, obstakelvrije zones en dergelijke). Doel is om de relaties tussen wegontwerp en verkeersveiligheid wetenschappelijk te onderbouwen, in het bijzonder voor de ‘opbouw’ van het dwarsprofiel uit de verschillende elementen. Het onderzoek is mogelijk gemaakt door het Fonds Collectief Onderzoek (tegenwoordig Stichting Fonds Collectieve Kennis) en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Voor dit onderzoek zijn drie deelonderzoeken verricht:
1. onderzoek naar de ontwerp- en inrichtingspraktijk van dwarsprofielen in Nederland;
2. een (inter)nationale literatuurverkenning naar de relatie tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid;
3. een praktijkonderzoek, bestaande uit een gedragsonderzoek en modelonderzoek. In dit laatste wordt gekeken of er een Crash Prediction Model (CPM) kan worden ontwikkeld die de relatie tussen ontwerpkenmerken en ongevallen kwantitatief beschrijft.

Het onderzoek naar de praktijk in Nederland wijst erop dat slechts een zeer beperkt deel van de GOW80-wegen volledig is ingericht volgens de richtlijnen en dat ook per afzonderlijk dwarsprofielelement slechts een beperkt deel van de wegen aan de richtlijnen voldoet. Daarmee lijken de richtlijnen en de huidige praktijk ver van elkaar af te staan.

De literatuurstudie wijst uit dat de volgende dwarsprofielelementen een belangrijke relatie hebben met de verkeersveiligheid:
- breedte van de verharding, de rijstrook en de redresseerstrook;
- breedte en uitvoering van de middenberm;
- breedte en uitvoering van de zachte rijrichtingscheiding;
- breedte van de obstakelvrije zone;
- breedte en type verharding van de vlucht- en bergingszone als onderdeel van de redresseerruimte.

De literatuurstudie maakt aannemelijk dat goed onderbouwde richtlijnen voor deze elementen gunstig zijn voor de verkeersveiligheid en – omgekeerd – dat een bezuiniging op de inrichting van deze dwarsprofielelementen, waardoor ze niet meer aan de richtlijnen voldoen, leidt tot een verhoogd ongevalsrisico. De in de literatuur gevonden relaties tussen (variaties in) deze dwarsprofielkenmerken en de verkeersveiligheid kunnen worden gebruikt om voor Nederland de veiligheidseffecten te schatten wanneer van een richtlijn wordt afgeweken. Wel dient bij het toepassen van internationale onderzoeksresultaten op de Nederlandse verkeersveiligheidssituatie rekening te worden gehouden met verschillen tussen buitenlandse en Nederlandse omstandigheden – zoals verschillen in mobiliteit, netwerk-opbouw en de omgeving – waardoor effecten in de Nederlandse praktijk kunnen afwijken van die in het buitenland.

In de gedragsstudie is getracht inzicht te verkrijgen in het verkeersgedrag op wegen met bepaalde (combinaties van) dwarsprofielkenmerken. De modelstudie is verricht om de mogelijkheid voor ontwikkeling van Crash Prediction Models (CPM's) voor Nederland af te tasten. Hierbij is geprobeerd om een 'referentiemodel' te ontwikkelen dat de kwantitatieve relatie beschrijft tussen verkeersintensiteit en ongevallen op wegen met een zeker 'referentieprofiel'. Met een dergelijk model zouden de veiligheidseffecten van afwijkingen ten opzichte van dit referentieprofiel inzichtelijk kunnen worden gemaakt. Op deze wijze zou het verkeersveiligheidsniveau van bestaande wegen en nieuwe wegontwerpen kunnen worden geëvalueerd. Binnen dit onderzoek is een basismodel ontwikkeld voor GOW80-wegen met een minimale obstakelvrije zone van 4,5 m. Het was niet mogelijk om een referentiemodel te ontwikkelen van een referentiedwarsprofiel met alle hiervoor genoemde kenmerken die als belangrijk voor de verkeersveiligheid uit de literatuurstudie waren gekomen. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat er niet voldoende data van wegkenmerken van het Nederlandse wegennet beschikbaar zijn. Voor de ontwikkeling van CPM's van GOW80-wegen is de (eenduidige) registratie van wegkenmerken daarom van groot belang. Aangezien wegbeheerders de gegevens van hun wegen beheren, blijven zij hierin een sleutelrol houden.

Tot slot beschouwen we nog eens de doelstelling van dit onderzoek: een wetenschappelijke onderbouwing van de relaties tussen het wegontwerp en de verkeersveiligheid van GOW80-wegen. De bevindingen uit dit onderzoek wijzen erop dat de huidige ontwerpstandaard van GOW80-wegen zoals vastgelegd in het *Handboek Wegontwerp* internationaal gezien minimaal is. Ook komt duidelijk naar voren dat een groot deel van het areaal van GOW80-wegen niet voldoet aan de huidige, minimale ontwerprichtlijnen, maar een nog krappere maatvoering heeft.

Dit rapport bevat daarom een laatste hoofdstuk met specifieke aanbevelingen voor het dwarsprofiel van GOW80. Dit ter aanvulling van het *Handboek Wegontwerp,* dat op dit moment herzien wordt. Deze aanbevelingen voor de maatvoering van de afzonderlijke dwarsprofiel-elementen zijn gebaseerd op (inter)nationaal onderzoek naar de relaties van deze elementen met verkeersveiligheid. Uitgangspunt bij deze aanbevelingen is één standaardmaatvoering plus een voorkeursvariant voor een *ruimer* profiel. Er is bewust voor gekozen om niet met ideale en *minimum*varianten te werken.

De SWOV adviseert om wegen niet onder de standaard ontwerprichtlijnen te ontwerpen en daar waar mogelijk voor een ruimere opzet van het dwarsprofiel van GOW80-wegen te kiezen.

Summary

Safety requirements for the cross sectional profile of distributor roads with an 80 km/h speed limit; Recommendations for the update of the Handbook Road Design

Single carriageway distributor roads with an 80 km/h speed limit (80km/h roads) are among the least safe roads in the Netherlands. A combination of factors are responsible, among which the road design and the spatial integration. Road design guidelines are intended to provide a specific or minimum level of road safety. However, presently these guidelines are insufficiently supported by empirical knowledge about the relation between the characteristics of road design and road safety. In addition, design guidelines are not always applied in practice. This lack of knowledge stands in the way of an accurate estimate of the road safety effects of such deviations from the guidelines. Hence, there is a definite need into the relation between the road design and road safety.

Together with road authorities and knowledge partners SWOV investigated the relation between the road safety and the design characteristics of the 80 km/h roads (the vertical cross section consisting of elements like carriageways, lanes, narrow shoulders, direction separators, obstacle-free zones, et cetera). This was done with the purpose of creating a scientific basis describing the relation between road design and road safety, more in particular for the 'composition' of the cross sectional profile by the different elements. The study was made possible by contributions from the Fund Collective Knowledge (FCO) and the Ministry of Infrastructure and the Environment.

The study was divided into three sub studies:
1. a study into the actual design and implementation of cross sectional profiles in the Netherlands;
2. an (inter)national literature study into the relation between design characteristics and road safety;
3. a practical study consisting of a behavioural study and a mathematical modelling study. The latter investigated whether a Crash Prediction Model (CPM) can be developed to quantitatively describe the relation between design characteristics and crashes.

The study into the actual situation in the Netherlands indicates that only a very limited proportion of the 80km/h distributor roads have a layout that is entirely in accordance with the guidelines, and that also a limited proportion of the roads meet the guidelines for separate elements of the cross sectional profile. The guidelines and actual practice therefore seem to be miles apart.

The literature study shows that the following elements of the cross sectional profile have an important relationship with road safety:
- width of the surfacing, lane and the narrow shoulder;
- width and type of the median;
- width and type of the directional separation;
- width of the obstacle-free zone;

- width and surfacing type of the emergency and recovery area as part of the narrow shoulder.

The literature study indicates the probability that well-founded guidelines for these elements have a positive road safety effect and – in reverse – that a cutback in the layout of these elements of the cross sectional profile will result in a higher crash rate. The relations between (variations in) these characteristics of cross sectional profiles and road safety that were found in the literature can be used to estimate the road safety effects for the Netherlands when a guideline is deviated from. It must however be noted that when findings of international research are applied to the Dutch road safety situation, differences in conditions between the Netherlands and other countries – such as differences in mobility, network structure, and the environment – must be taken into account. Such differences may cause effects in the Netherlands to be different from the effects in other countries.

The behavioural study set out to obtain insights in the traffic behaviour on roads with certain (combinations of) characteristics of cross sectional profiles. The mathematical modelling study was carried out to investigate the possibility of developing Crash Prediction Models (CPMs) for the Netherlands. An attempt was made to develop a 'reference model' which describes the quantitative relation between traffic volume and crashes on roads with a certain 'reference profile'. Such a model could be used to provide insight into the safety effects of deviations from this reference model. In this way the road safety level of existing roads and new road designs could be evaluated. Within this study a base model was developed for 80 km/h distributor roads with a minimum obstacle-free zone of 4.5 m. It was not possible to develop a reference model containing all the cross-sectional characteristics that were identified as important for road crashes in the literature study. This was largely due to insufficient road characteristics data of the Dutch road network with relatively low accident densities being available for the analysis. Unambiguous registration of road characteristics is very important for the development of CPMs of GOW80 roads. As road authorities are in charge of the data of their roads, they will continue to have a key role in developing adequate databases for such analyses.

Finally, the findings of this study indicate that the provisions of certain cross-sectional elements in the present guidelines for the design of 80km/h distributor roads (namely the *Handboek Wegontwerp* or in English *Handbook Road Design*) are minimal in international comparison. It is also clearly established that a large proportion of 80km/h roads do not meet the requirements of the guidelines and are dimensioned far below international practices.

Therefore, as a supplement to the *Handboek Wegontwerp* which is presently being revised, this report contains a final chapter with specific recommendations for the cross sectional profile of 80km/h roads. These recommendations for the dimensioning of the separate cross sectional profiles are based on (inter)national research into the relations these elements have with road safety. The starting point for these recommendations is one standard set of dimensions , plus a preferred derivative for a *wider* profile. A deliberate choice was made to avoid the customary ideal and *minimum profiles used in the current guidelines.*

SWOV recommends not to use a road design that does not meet the standard design guidelines and, whenever possible, to choose a more generous layout for the cross sectional profile of 80km/h roads.

Inhoud

Voorwoord **11**

Afkortingen en begrippen **12**

1. Inleiding **13**
1.1. Aanpak onderzoeksprogramma 14
1.2. Onderzoeksdoelstelling 15
1.3. Leeswijzer 15

2. Onderzoeksaanpak **17**
2.1. Ontwerprichtlijnen en verkeersveiligheid 17
2.2. Dwarsprofielontwerp, inrichting en gebruik van GOW80-wegen in Nederland 17
2.2.1. Beknopte inventarisatie van meest voorkomende GOW80-dwarsprofieltypen 18
2.2.2. Inventarisatie van ervaringen van wegbeheerders 18
2.2.3. Toetsing van bestaande GOW80-dwarsprofieltypen aan de Basiskenmerken Wegontwerp 18
2.3. Praktijkonderzoek 19
2.3.1. Gedragsonderzoek 19
2.3.2. Modelonderzoek 21

3. Theoretische beschouwing dwarsprofiel en relatie met verkeersveiligheid **23**
3.1. Opbouw van het dwarsprofiel 23
3.1.1. Dubbelbaans GOW80 (Type I GOW) 28
3.1.2. Enkelbaans GOW80 (Type II GOW) 28
3.2. De relatie tussen dwarsprofielelementen en verkeersongevallen 29
3.2.1. Rijbaan- en rijstrookbreedte 29
3.2.2. Middenberm 33
3.2.3. Bermen 38
3.2.4. Het dwarsprofiel als geheel 47
3.3. Overige kenmerken van het dwarsprofiel en de relatie met verkeersongevallen 50
3.3.1. Inhaalverboden en geslotenverklaring 50
3.3.2. Verkanting 52
3.3.3. Effect van rijstrookbreedte en rijbaanindeling op snelheid 52
3.4. Conclusies 53

4. Ontwikkelingen op 80km/uur-wegen **57**
4.1. Areaal en inrichting van 80km/uur-wegen 57
4.2. Verkeersveiligheid op 80km/uur-wegen 59
4.2.1. Diepteonderzoek bermongevallen 66
4.3. Duurzaam veilige GOW80-wegen en grijze wegen 66
4.4. Conclusies 70

5. Praktijkonderzoek naar relaties tussen dwarsprofielkenmerken, verkeersongevallen en gedrag op GOW80-wegen 73
5.1. Gedragsonderzoek 73
5.1.1. Selectie van meetlocaties 73
5.1.2. Verkeerstellingen en snelheidsmetingen 80
5.1.3. Gedragswaarnemingen 82
5.1.4. Resultaten gedragsonderzoek 83
5.2. De ontwikkeling van Safety Performance Functions voor GOW80-wegen 87
5.2.1. Modeltheorie 87
5.2.2. Data-analyse 91
5.2.3. Modelanalyse 97
5.2.4. Conclusies modelonderzoek 102

6. Samenvatting bevindingen en algemene aanbevelingen 104
6.1. Literatuuronderzoek 104
6.2. Ontwikkeling op 80km/uur-wegen 106
6.3. Praktijkonderzoek 107

7. Specifieke aanbeveling voor een verkeersveilig dwarsprofiel voor 1x2-GOW80 110
7.1. Verkeersveiligheidsoverwegingen 110
7.2. Verharding 111
7.2.1. Rijstroken 112
7.2.2. Redresseerstroken 112
7.3. Vlucht- en bergingszone 113
7.3.1. Bermverharding 114
7.3.2. Objecten en objectafstand 114
7.4. Rijrichtingscheiding 114
7.4.1. Fysieke (harde) rijrichtingscheiding 114
7.4.2. Zachte rijrichtingscheiding 115
7.5. Obstakelvrije zone 116
7.6. Het dwarsprofiel als geheel 117
7.7. Gedwongen concessies en afwijkingen 118

Literatuur 120

Bijlagen 1 t/m 4 127

Bijlage 1 Dwarsprofielen 128

Bijlage 2 Snelheidsmetingen 134

Bijlage 3 Ongevallen gedragsonderzoek 137

Bijlage 4 Resultaten vergelijkbare CPM's 138

Voorwoord

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door het Fonds Collectief Onderzoek (tegenwoordig Stichting Fonds Collectieve Kennis) en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het onderzoek is uitgevoerd onder begeleiding van een begeleidingsgroep bestaande uit:

John Boender (voorzitter),	CROW kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur
Leonid Braimaister,	Provincie Zuid-Holland
Richard van der Horst,	TNO
Foppe Koen,	Provincie Drenthe
Peter Roskam,	Provincie Utrecht
Marc Schrijen,	Provincie Limburg
Pieter van Vliet,	Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart DVS

Het onderzoek is onderdeel van de Nationale Agenda Verkeersveilig Wegontwerp (NAVWo) van de SWOV, die in de komende jaren invulling moet gaan geven aan een referentieontwerp voor verkeersveiligheid; in dit geval specifiek een referentieontwerp voor dwarsprofielen op provinciale gebiedsontsluitingswegen met een limiet van 80 km/uur.

Afkortingen en begrippen

AIC	Akaike Information Criterium
CPM	Crash Prediction Model, in de literatuur ook wel Accident Prediction Model (APM) genoemd
bibeko	binnen de bebouwde kom
bubeko	buiten de bebouwde kom
BKWO	Basiskenmerken Wegontwerp
BRON	Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland
CMF	Crash Modification Factor, in de literatuur ook wel Accident Modification Factor (AMF) of Crash Reduction Factor (CRF) genoemd
CROW	CROW kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur
DVS	Dienst Verkeer en Scheepvaart
ernstig letselongeval	ongeval met ernstig verkeersgewonde(n), exclusief dodelijke ongevallen
ernstig ongeval	ongeval met dodelijke slachtoffers en/of ernstig verkeersgewonden
ernstig verkeersgewonde	verkeersslachtoffer opgenomen in een ziekenhuis met letselernst MAIS van 2 of hoger (en niet binnen 30 dagen overleden)
EuroRAP	European Road Assessment Programme
FCO	Fonds Collectief Onderzoek
GOW	Gebiedsontsluitingsweg
HCM	Highway Capacity Manual
HSM	Highway Safety Manual
HWO	Handboek Wegontwerp
LMR	Landelijke Medische Registratie
LRT	Likelihood Ratio Test
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
RoR	Run off Road (van de weg raken)
RPS	Road Protection Score
SODBW	SWOV OnderzoeksDataBase Wegkenmerken
SPF	Safety Performance Function

1. Inleiding

De ontwerprichtlijnen van het CROW vormen de basis voor het wegontwerp en de waarborging van de verkeersveiligheid van het ontwerp. Hoewel verkeersveiligheidsoverwegingen het wegontwerp mede bepalen, zijn deze lang niet altijd herkenbaar in de richtlijnen. De ontwerprichtlijnen zijn primair opgebouwd vanuit bepalingen die zijn gerelateerd aan de fysieke eigenschappen van mensen, voertuigen en de omgeving. Deze zijn veelal gebaseerd op kennis afgeleid uit natuurwetten, aangevuld met (historisch bepaalde) veiligheidsmarges. Een onderbouwing vanuit een kwantitatieve relatie met ongevallen ontbreekt meestal. Ondanks de vele actualisaties van de verschillende ontwerprichtlijnen, blijft de onderliggende kennis voor het grootste deel gebaseerd op onderzoek en inzichten uit de jaren zeventig en tachtig uit vooral Duistland en de Verenigde Staten (VS) van Amerika.

Bij een gebrek aan risicocijfers wordt in de praktijk de veiligheid van zowel bestaande als nieuwe wegen getoetst aan de mate waarin deze voldoen aan de ontwerprichtlijnen. Daarbij lijkt de misvatting te bestaan dat wegen die per ontwerpelement voldoen aan de 'minimale' richtlijnen als veilig kunnen worden geclassificeerd. De minimumwaarden die per ontwerpelement in de richtlijnen staan beschreven, zijn echter niet opgesteld om in combinatie als 'veilig' te worden geclassificeerd. De minimale richtlijnen zijn in de ontwerp-richtlijnen opgenomen om ruimte te bieden aan de wegbeheerders om binnen een bepaalde bandbreedte af te kunnen wijken van de standaard, vanuit ruimte- en/of kostenoverwegingen. Omdat richtlijnen echter geen harde vereisten zijn, mag zelfs gemotiveerd worden afgeweken onder de minimumwaarden. Elk ontwerpelement dat wordt vormgegeven volgens een minimale richtlijn introduceert echter een extra veiligheidsrisico ten opzichte van de standaardrichtlijn. De combinaties van verschillende minimum-ontwerpelementen en/of intensief gebruik van de weg kunnen daarbij tot hogere risico's leiden dan de som van de individuele risico's. Daarbij valt te denken aan de combinatie van een minimale obstakelvrije zone en minimale rijbaanbreedte. Beide elementen introduceren een verhoogd veiligheids-risico, die elkaar in combinatie zullen versterken.

Ook ligt er in toenemende mate druk op wegontwerpers om ontwerpen te realiseren binnen beperkte (zelfs nauwelijks toereikende) budgetten en (te) weinig ruimte. Doordat kennis ontbreekt over verkeersveiligheidseffecten van het gebruik van minimumwaarden of afwijking van de richtlijnen, is het des te moeilijker om argumenten aan te dragen waarom bepaalde ontwerp-keuzes slecht voor de verkeersveiligheid kunnen zijn en waarom extra budget nodig is in het belang van verkeersveiligheid. Dit leidt tot situaties waarbij ontwerpbesluiten worden genomen om minimumwaarden (voor afzonderlijke elementen maar ook in combinatie met andere elementen) te accepteren met weinig of geen beschouwing van de verkeersveiligheids-implicaties of -gevolgen.

Aan de andere kant bevatten richtlijnen ook bepalingen die uit historische veiligheidsoverwegingen zijn opgenomen, zonder dat er in de huidige situatie een aantoonbare relatie is met verkeersveiligheid.

Het belang van richtlijnen voor wegontwerp blijft echter onomstreden. Ook uit gebruikersonderzoek (DTV Consultants, 2010) blijkt dat men belang hecht aan een uniforme inrichting en het belang van nationale richtlijnen hierbij.

Deze ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat de SWOV, in samenwerking met de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) van Rijkswaterstaat, het Fonds Collectief Onderzoek (FCO) en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en andere partners (onder andere de provinciale wegbeheerders, gemeenten, ingenieursbureaus), een onderzoeksprogramma is gestart om de relaties tussen verkeersveiligheid en (elementen van) wegontwerp beter te onderbouwen. Dit programma bestaat uit drie onderdelen gericht op rijkswegen, provinciale wegen en gemeentelijke wegen. Elk onderdeel bevat een geprioriteerde lijst met te onderzoeken onderwerpen.

Onderhavig rapport is het eerste in deze reeks en beschouwt de opbouw van het dwarsprofiel van provinciale gebiedsontsluitingswegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur, de zogeheten GOW80-wegen, in relatie tot de verkeersveiligheid.
Het dwarsprofiel van een weg is gedefinieerd als de verticale doorsnede loodrecht op de as van de weg (CROW, 2002) en bevat elementen zoals rijbanen, rijstroken, redresseerstroken, rijrichtingscheiding, buitenbermen, parallelvoorzieningen, taluds/bermsloten en dergelijke.

1.1. Aanpak onderzoeksprogramma

Het bovengenoemd gezamenlijk onderzoeksprogramma heeft als uiteindelijk doel een uniform en verkeersveilig ‘referentieontwerp’ voor wegen, waarbij de effecten van afwijkende ontwerpkeuzes inzichtelijk worden gemaakt. Zo kunnen ze worden afgewogen tegen de gevolgen voor de verkeersveiligheid.

Voor een gefundeerde onderbouwing van de ontwerpelementen en de relaties met de verkeersveiligheid, zijn er verschillende mogelijkheden. Er kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van internationale literatuur op dit gebied (bijvoorbeeld *Highway Safety Manual* - AASHTO, 2010; *Road safety engineering risk assessment* - McLean, Veith & Turner, 2010a). Maar ook kan (daarnaast) nieuw Nederlands onderzoek worden opgezet en uitgevoerd naar de relatie tussen (een selectie van) de ontwerpkenmerken en de verkeersveiligheid. Een andere overweging is de fasering: zijn alle ontwerpelementen even belangrijk en moeten ze allemaal tegelijk worden opgenomen in de richtlijnen of kan de wetenschappelijke onderbouwing gefaseerd gebeuren?

In het meerjarenonderzoeksprogramma dat de SWOV in samenwerking met wegbeheerders en kennispartners heeft opgesteld, is gekozen voor een gefaseerde aanpak waarbij uitgebreid gebruikgemaakt wordt van internationale ervaringen, aangevuld met specifiek onderzoek. Per onderdeel (autosnelwegen, provinciale wegen en gemeentelijke/stedelijke wegen) zijn de verschillende onderzoeksonderwerpen geprioriteerd op basis van de ingeschatte relatie met verkeersveiligheid en de mate van onderbouwing in de huidige richtlijnen. Deze prioritering is tot stand gekomen door een eerste voorstel van de SWOV te bespreken in werksessies en workshops met wegbeheerders en belanghebbenden.

Het dwarsprofiel van provinciale gebiedsontsluitingswegen – het onderwerp van deze studie – is als één van de belangrijkste onderzoeksonderwerpen geprioriteerd.

1.2. Onderzoeksdoelstelling

Het primaire doel van dit onderzoek is *een wetenschappelijke onderbouwing van de relaties tussen wegontwerp en verkeersveiligheid, in het bijzonder voor de 'opbouw van het dwarsprofiel op gebiedsontsluitingswegen met een limiet van 80 km/uur'.*

Bij dit onderzoek was de volgende vraagstelling leidend:

- Wat is een optimaal verkeersveilig (duurzaam veilig) dwarsprofiel?
- Hoe worden de relaties tussen dwarsprofielelementen en verkeers-veiligheid in het buitenland onderbouwd?
- Wat zijn de verkeersveiligheidsconsequenties bij afwijking van het optimale dwarsprofiel?
- Kunnen de ontwerpkenmerken worden omschreven en kan een Accident of Crash Prediction Model (APM of CPM) worden ontwikkeld waarin de verbanden tussen ontwerpkenmerken, verkeersprestatie en ongevallen worden gelegd?

1.3. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van de verschillende onderdelen van dit onderzoek. Dit gaat om te beginnen om een onderzoek naar de huidige stand van het ontwerp, de inrichting en het gebruik van GOW80-wegen in het binnen- en buitenland. Ook wordt de aanpak beschreven van een praktijkonderzoek naar rijgedrag en verkeersveiligheid, en van de mogelijke ontwikkeling van Crash Prediction Models voor dwarsprofielen op GOW80-wegen.

Hoofdstuk 3 geeft een theoretische beschouwing van hoe een dwarsprofiel wordt opgebouwd. Het geeft inzicht in alle elementen van het dwarsprofiel en de samenhang hiertussen. Op basis van lokale en internationale kennis per dwarsprofielelement wordt in dit hoofdstuk ook de relatie met verkeersveiligheid gelegd.

Hoofdstuk 4 beschrijft hoe het 'areaal' aan wegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur (80km/uur-wegen) in Nederland zicht ontwikkelt, en hoe de verkeersveiligheid zicht ontwikkelt – in het algemeen en specifiek op 80km/uur-wegen. Ook relevante resultaten en ervaringen uit lokaal onderzoek, specifiek het SWOV Diepteonderzoeksprogramma naar bermongevallen, de 'Road Protection Score' (RPS)-systematiek van het European Road Assessment Programme EuroRAP en de ANWB, en ander onderzoek naar bermongevallen worden in *Hoofdstuk 4* gepresenteerd.

Vervolgens wordt in *Hoofdstuk 5* het praktijkonderzoek gepresenteerd en wordt een onderbouwing van de relaties tussen dwarsprofielkenmerken, verkeersongevallen en rijgedrag ontwikkeld. Het ontwikkelen van een Crash Prediction Model voor dwarsprofielen van GOW80-wegen en de toepassing daarvan in de Nederlandse situatie vormt hier een expliciet onderdeel van.

Hoofdstuk 6 bevat een samenvatting van de bevindingen en algemene aanbevelingen op basis daarvan.

Hoofdstuk 7 gebruikt de resultaten uit dit onderzoek (*Hoofdstukken 3, 4* en *5*) voor specifieke aanbevelingen die kunnen worden opgenomen in een handleiding zoals bijvoorbeeld het *Handboek Wegontwerp*. Het geeft per dwarsprofielelement de aanbevolen standaard en een voorkeursvariant van een ruimer dwarsprofiel, waarbij gewezen wordt op de positieve verkeers-veiligheidseffecten van de voorkeursvariant. Daarnaast worden de risico's voor de verkeersveiligheid aangegeven indien van de standaard wordt afgeweken.

2. Onderzoeksaanpak

Dit onderzoek richt zich op de relatie tussen dwarsprofielelementen (individueel en in samenhang) van (provinciale) GOW80-wegen en de verkeersveiligheid. Het onderzoek is uitgevoerd in drie deelonderzoeken; 1) een (inter)nationale literatuurverkenning naar de relatie tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid; 2) een beschouwing van de ontwerp- en inrichtingspraktijk van dwarsprofielen in Nederland; en 3) een praktijkonderzoek naar de relatie tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid in Nederland.

2.1. Ontwerprichtlijnen en verkeersveiligheid

Om te beginnen is in dit deel van het onderzoek (gerapporteerd in *Hoofdstuk 3*) inzichtelijk gemaakt uit welke elementen het dwarsprofiel van GOW80-wegen is opgebouwd, hoe deze verschillende elementen zijn gedefinieerd.

Vervolgens is aan de hand van literatuuronderzoek de relatie tussen deze verschillende dwarsprofielelementen en de verkeersveiligheid belicht. Daarbij is veel gebruikgemaakt van buitenlandse ervaringen en praktijken, omdat Nederlands onderzoek vaak ontbreekt. Vanwege de verschillen in het wegontwerp tussen Nederland en het buitenland zijn van de kenmerken niet alleen de relatie met de verkeersveiligheid maar ook de definities besproken.

Het literatuuronderzoek is uitgevoerd op basis van een scan naar relevante rapporten, (congres)artikelen en ontwerprichtlijnen die beschikbaar zijn in de SWOV-bibliotheek of andere betrouwbare en erkende bronnen zoals de Transport Research International Documentation TRID. Er is gefilterd op onder andere de volgende (combinaties van) zoektermen: ‘road design; geometric design; cross-sectional elements; clear zone, crashes; accidents; road safety; performance; shoulders; capacity; two lane roads; speed’. Op basis van de samenvattingen en abstracts zijn de meest relevante en/of recente documenten geselecteerd en in detail bestudeerd en het resultaat samengevat.

Daarnaast is contact gelegd met relaties in het buitenland om te informeren over onder andere de ervaringen bij het ontwerp en de inrichting van dwarsprofielen van enkelbaans 1x2-wegen, ervaringen met betrekking tot de verkeersveiligheid daarbij en bij afwijkingen van de richtlijnen.

2.2. Dwarsprofielontwerp, inrichting en gebruik van GOW80-wegen in Nederland

De huidige praktijk van ontwerp, inrichting en gebruik van 80km/uur-wegen en specifiek GOW80-wegen (beschreven in *Hoofdstuk 4*) is onderzocht aan de hand van de volgende activiteiten:

- beknopte inventarisatie van de meest voorkomende dwarsprofielkenmerken van GOW80-wegen (*Paragraaf 2.2.1*);
- inventarisatie van ervaringen van wegbeheerders (*Paragraaf 2.2.2*);
- toetsing van bestaande GOW80-dwarsprofieltypen aan de *Basiskenmerken Wegontwerp* (CROW, 2012; *Paragraaf 2.2.3*).

2.2.1. *Beknopte inventarisatie van meest voorkomende GOW80-dwarsprofieltypen*

De SWOV beschikt over gegevensbestanden met kenmerken van wegen van een aantal provincies. Aan de hand van deze gegevensbestanden is gekeken hoeveel weglengte aan GOW80-wegen bepaalde kenmerken van het dwarsprofiel bezit (wegtype en -indeling; rijstroken; redresseerstroken; soort berm; (berm)verharding; obstakelvrije afstand; aanwezigheid parallel-voorziening; (soort) obstakels en dergelijke). Dit levert een beeld op van de meest voorkomende dwarsprofielkenmerken van dit soort wegen in Nederland.

2.2.2. *Inventarisatie van ervaringen van wegbeheerders*

In het kader van het CROW-project 'Categoriseren van wegen buiten de bebouwde kom' zijn (goede en slechte) praktijkvoorbeelden verzameld onder wegbeheerders van GOW80-wegen. Van deze voorbeelden is gebruikgemaakt om inzicht te verkrijgen in de problemen in de praktijk bij het (her)inrichten van GOW naar de eisen aan het dwarsprofiel die worden gesteld in het *Handboek Wegontwerp* (HWO; CROW, 2002) en de *Richtlijn Essentiële Herkenbaarheidskenmerken* (EHK; CROW, 2004) en de *Basiskenmerken Wegontwerp* (BKWO; CROW, 2012).

Naast de verzameling van praktijkvoorbeelden zijn twee workshops gehouden met wegontwerpers, beleidsmakers en andere stakeholders om het belang van een betere onderbouwing van de relatie tussen ontwerp-kenmerken en verkeersveiligheid in richtlijnen te bepalen. Het dwarsprofiel en de opbouw daarvan was hier een expliciet onderdeel van. Tijdens deze workshops is aan deelnemers gevraagd om per ontwerpkenmerk aan te geven of volgens hen de relatie met verkeersveiligheid belangrijk is en in de richtlijnen moet worden opgenomen, en tegelijkertijd aan te geven hoe belangrijk dit kenmerk wat dat betreft is ten opzichte van alle andere kenmerken.

2.2.3. *Toetsing van bestaande GOW80-dwarsprofieltypen aan de Basiskenmerken Wegontwerp*

Aanvullend op de analyse van de meest voorkomende dwarsprofieltypen is ook het aandeel van de wegen onderzocht dat voldoet aan het minimale inrichtingsprofiel volgens de *Basiskenmerken Wegontwerp* (BKWO; CROW, 2012a). Deze recente publicatie van het CROW zal deel gaan uitmaken van het *Handboek Wegontwerp* (HWO) wanneer dit herzien wordt. De BKWO beschrijven de functionele uitgangspunten en basiscriteria van het wegontwerp. Dit is vertaald naar een lijst van 19 basiskenmerken, waarvan per wegtype (autosnelwegen uitgezonderd) de vormgevingseisen zijn aangegeven (zonder maatvoering). Van elk wegtype geeft de BKWO een ideale inrichting en minimale inrichting. Het HWO geeft een technische invulling aan deze basiskenmerken aan de hand van maatvoeringen en uitvoeringsvarianten van de verschillende elementen.[1]

De SWOV-onderzoeksdatabase wegkenmerken (SODBW) is gebruikt om een inschatting te maken van het aandeel van wegen dat voldoet aan het

[1] Een eerste herziening van het HWO is reeds digitaal beschikbaar met de BKWO in deel A verwerkt (CROW, 2012b). De BKWO zijn in de overige delen echter nog niet verwerkt. Waar de BKWO en het HWO overlappen zijn de BKWO dus leidend.

minimale inrichtingsprofiel volgens de BKWO.[2] Daarbij is tevens het ongevalsrisico bepaald.

De keuze om de analyse op het minimale inrichtingsprofiel te richten heeft twee redenen. De eerste reden is dat in de praktijk het ideale profiel zeer weinig voorkomt. De tweede reden, hieraan gerelateerd, is dat er te weinig data ter beschikking waren om hier een analyse op te kunnen uitvoeren.

2.3. **Praktijkonderzoek**

Binnen het praktijkonderzoek (gerapporteerd in *Hoofdstuk 5*) is een gedragsonderzoek en een modelonderzoek uitgevoerd om de effecten op de verkeersveiligheid te onderzoeken bij afwijking van de ontwerprichtlijnen. In het gedragsonderzoek is de relatie gelegd tussen het wegontwerp en verscheidene gedragskenmerken. In het modelonderzoek is de relatie gelegd tussen het wegontwerp en ongevallen. De aanpak van deze onderzoeken staat in respectievelijk *Paragraaf 2.3.1 en 2.3.2* beschreven.

2.3.1. *Gedragsonderzoek*

2.3.1.1. Overwegingen

Het ontwerp en de inrichting van het dwarsprofiel worden bepaald door de fysieke grootte van het ontwerpvoertuig (ruimtebeslag), de vetergang (een voertuig beweeg nu eenmaal niet in een perfecte rechte lijn), ontwerp-snelheid, afstand tot objecten en objectvrees. Het gedragsonderzoek is erop gericht inzicht te krijgen in verschillen in het verkeersgedrag op de meest voorkomende dwarsprofielen van GOW80-wegen. Het betreft snelheids-volg- en inhaalgedrag maar ook laterale positie op de weg. Daarnaast zijn gegevens over expositie (verkeersintensiteit) belangrijk. Dit inzicht is van belang om aan te geven of verschillen in wegontwerp veilig verkeersgedrag stimuleren (of juist het tegenovergestelde).

Om een vergelijking in verkeersgedrag op verschillende typen dwars-profielen mogelijk te maken kunnen drie primaire bronnen worden benut:
- resultaten van recent onderzoek in Nederland;
- tellingen en waarnemingen op locatie; en
- microsimulaties.

In dit onderzoek is primair gebruikgemaakt van de tweede bron, aangevuld met resultaten uit de eerste bron. Omdat veldonderzoek relatief duur en tijdrovend is, zijn keuzes noodzakelijk. Typische dwarsprofielen moeten worden gedefinieerd (welke dwarsprofielelementen zijn onderscheidend en van belang voor verkeersveiligheid), er moet bepaald worden hoe vaak deze voorkomen en dan moet een (representatief) steekproef van locaties geselecteerd worden waar gedragswaarnemingen en verkeersmetingen uitgevoerd kunnen worden.

In overleg met de begeleidingsgroep is besloten om, waar mogelijk, de volgende elementen te gebruiken om de dwarsprofielcombinaties te onderscheiden: de vorm van rijrichtingscheiding, de breedte van de

[2] In eerste instantie is er getracht om de verschillende datasets die voor dit onderzoek ter beschikking waren samen te voegen. Als gevolg van verschillen in de wegkenmerkenregistratie tussen de datasets is dit niet gelukt,

redresseerstrook, de bermverharding en de breedte van de obstakelvrije zone. Rijstrookbreedte is niet gekozen als variabele omdat deze mede afhankelijk is van de inrichting van de redresseerstrook en de rijrichtingscheiding. Met deze kenmerken zijn er 24 soorten dwarsprofielen te onderscheiden (2 soorten rijrichtingscheiding, 3 obstakelvrije afstanden; 2 soorten bermverharding en 2 redresseerstrookbreedtes).

2.3.1.2. Selectie van locaties voor gedragswaarnemingen en verkeerstellingen

De SWOV-onderzoeksdatabase bevat wegkenmerkendata van GOW80-wegen van de provincies Gelderland en Drenthe. Hoewel de dwarsprofielelementen in de database niet precies hetzelfde zijn gedefinieerd als hierboven beschreven, kunnen deze wel worden afgeleid. In de database kan onderscheid worden gemaakt naar wegtype (indeling van de verhardingsbreedte, soort rijrichtingscheiding en soort kantmarkering); obstakelvrije afstand en bermverharding. De database is vervolgens gebruikt om een primaire verdeling te maken naar vier wegtypen:

1. oude stijl GOW profiel I met enkele onderbroken as- en kantmarkering;
2. oude stijl GOW profiel II met enkele onderbroken as- en doorgetrokken kantmarkering;
3. nieuwe stijl GOW (EHK) profiel I met dubbele onderbroken as- en kantmarkering;
4. nieuwe stijl GOW (EHK) profiel II met dubbele doorgetrokken as- en onderbroken kantmarkering

Elk van deze is verder onderverdeeld naar obstakelvrije afstand en soort bermverharding met als resultaat 24 mogelijke varianten. Gegeven recent onderzoek van onder andere de SWOV naar enkelvoudige ongevallen en de inrichting van bermen/obstakelvrije zones en het beschikbare budget voor het veldwerk (waarnemingen), is besloten om de waarnemingen toe te spitsen op de primaire verdeling: die vier wegtypen.

Met deze keuze kan een vergelijking worden gemaakt tussen het gedrag op wegen ingericht volgens de oude stijl en de nieuwe stijl. Ook kunnen uitspraken worden gedaan over het effect van rijstrookbreedte, rijrichtingscheiding en kantmarkering op het rijgedrag. Daarnaast kunnen uitspraken worden gedaan over de plaats op de weg met verschillende inrichtingsvormen en onder verschillende verkeerscondities (bijvoorbeeld soort tegenligger). De resultaten van het veldwerk in dit onderzoek maken geen uitspraken mogelijk over het effect van het soort bermverharding of van de breedte van de obstakelvrije zone op het rijgedrag. Deze worden gebaseerd op resultaten uit ander onderzoek.

Voor de selectie van locaties voor de gedrags- en verkeersmetingen is de wegkenmerkendatabase gebruikt om een verdeling naar wegnummer, hectometerpaal, wegtype (kant- en asmarkering), obstakelvrije zone en bermverharding uit te voeren. Hiermee ontstaat een overzicht van hoe het dwarsprofiel over de lengte van de weg verandert. Uit deze verdeling is voor elk van de vier wegtypen gezocht naar zes random locaties met een minimale lengte van 1,5 kilometer (de optimale lengte van een inhaalstrook) en met een continu dwarsprofiel (geen wijziging in markeringen, obstakelvrije afstand of bermverharding).

2.3.1.3. Gedragswaarnemingen en verkeerstellingen

Bij elk van de geselecteerde locaties zijn de volgende data ingezameld:

- Verkeersdata (per uur voor 7 dagen en per rijrichting)
  - intensiteiten;
  - samenstelling (auto, bus, vrachtauto en dergelijke);
  - snelheid (in 10 klassen/intervallen).
- Gedragswaarnemingen
  - laterale positie (gemeten in 5cm-intervallen van linker-/rechterwiel naar as-/kantlijn en type tegenligger);
  - volgafstand (tijd tot voorligger);
  - kant-/aslijnoverschrijding (aantal naar type tegenligger);
  - inhaalbewegingen (naar soort voertuig ingehaald);
  - uitwijkmanoeuvres (naar type);
  - remacties (naar type).

Verkeersmetingen en gedragswaarnemingen zijn synchroon uitgevoerd. Verkeersdata zijn verkregen van de desbetreffende wegbeheerders en zijn veelal over een volledige week gemeten. Rijgedrag is waargenomen tijdens drie periodes (07:00–09:00; 12:00–14:00 en 16:00–18:00) op een week- en weekenddag gedurende dezelfde week.
Voor de verkeersdata zijn de bronbestanden van de tellers op (of dichtbij) de geselecteerde wegvakken aangevraagd bij de provinciale wegbeheerders van Gelderland, Drenthe en Overijssel. Deze bestanden zijn in Excel verwerkt om per locatie een indruk te krijgen van de verkeersvraag over de dag en over de week. Naast verkeersintensiteiten hebben de provincies ook snelheidsgegevens uit dezelfde week (waar gemeten) aangeleverd. Daarnaast zijn historische verkeersgegevens opgevraagd om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de verkeersvraag en ook de samenstelling daarvan.

2.3.2. *Modelonderzoek*

2.3.2.1. Overwegingen

In het buitenland worden Crash Prediction Models (CPM's) ingezet om de verkeersveiligheidseffecten van het wegontwerp te kwantificeren. In een CPM wordt een kwantitatief verband gelegd tussen ontwerpkenmerken, verkeersprestatie en ongevallen. De ontwikkeling en het gebruik van CPM's in Nederland bevindt zich nog in de kinderschoenen. Daarom worden CPM's in *Hoofdstuk 5* eerst uitgebreid toegelicht, voordat de ontwikkeling van een CPM voor dit onderzoek naar dwarsprofielen wordt behandeld.

De ontwikkeling van CPM's kan verschillende doelen dienen, zoals:

- schatten van de relatieve veiligheid van wegen in een netwerk en het identificeren van relatief onveilige wegen;
- inzichtelijk maken van de effecten van verkeersveiligheidsmaatregelen;
- vergelijken van het verkeersveiligheidsniveau van verschillende wegontwerpen;
- inzichtelijk maken van de verkeersveiligheidseffecten van afwijkingen van een standaarddwarsprofiel.

Op basis van ervaring van de SWOV, is ervoor gekozen om in deze fase van de ontwikkeling van CPM's in Nederland dezelfde benadering te volgen

als in de *Highway Safety Manual* (HSM; AASHTO, 2010). Deze behelst de ontwikkeling van een referentie- of standaardmodel, op basis van een selectie van wegen die voldoen aan een referentieontwerp van het dwarsprofiel. De ontwikkeling van dit referentiemodel is de eerste stap in het onderzoek naar de effecten die afwijkingen van het referentieontwerp kunnen hebben op de verkeersveiligheid. Dit referentiemodel wordt de 'Safety Perfomance Function' (SPF) genoemd.

2.3.2.2. Ontwikkeling van een CPM voor een standaard-dwarsprofiel

Crash (of Accident) Prediction Models (CPM's) zijn regressiemodellen waarmee het aantal ongevallen op een weg wordt gemodelleerd op basis van kenmerken van de weg en de expositie (weglengte en verkeersintensiteit). Een basisvorm daarvan, op basis van een referentie- of standaardontwerp, is zoals gezegd de Safety Performance Function (SPF). Binnen deze studie is de ontwikkeling van een SPF in Nederland voor de standaardinrichting van het dwarsprofiel van GOW80-wegen onderzocht.

De SPF is dus opgezet als een model gericht op een specifieke weginrichting; het referentieprofiel. De enige onafhankelijke variabelen in de SPF (naast een constante) zijn de weglengte en de hoeveelheid verkeer. Wegkenmerken worden niet expliciet als modelvariabele in het model opgenomen. Deze zijn echter wel gespecificeerd in het referentieprofiel. Een SPF geeft daarmee een schatting van het verwachte aantal ongevallen op een weg met het referentieprofiel, op basis van de verkeersprestatie. Door het aantal ongevallen op een weg met een afwijking van het referentieprofiel te vergelijken met de schatting van de SPF (waarbij dezelfde verkeersprestatie wordt ingevoerd), kan de relatieve veiligheid van de weg ten opzichte van het referentieprofiel worden bepaald.

Daarnaast kan in een vervolgstadium worden getracht zogenoemde 'Accident' of 'Crash Modification Factors' (CMF's) aan het model toe te voegen (risicofactoren waarmee het verwachte aantal ongevallen volgens de SPF zou moeten worden vermenigvuldigd). Daarmee worden wegkenmerken alsnog expliciet als modelvariabele aan de SPF toegevoegd om zo een schatting van het verwachte aantal ongevallen voor de lokale situatie te kunnen bepalen. Deze methode voor het gebruik van CPM's is gekozen in de HSM. Dit onderzoek is in eerste instantie gericht op de ontwikkeling van de SPF.

De databestanden met wegkenmerken van GOW80-wegen zijn geanalyseerd op dwarsprofielkenmerken waarvan wordt aangenomen dat deze belangrijk zijn voor de verkeersveiligheid. Op basis hiervan zijn zestyperende dwarsprofielen gedefinieerd. De wegvakken in de database die voldoen aan een van deze typerende dwarsprofielen zijn ingedeeld in zes homogene groepen en voor elke groep is een aparte CPM ontwikkeld. De statistische robuustheid van elke CPM is getoetst aan de hand van de Likelihood Ratio-test (LRT).

3. Theoretische beschouwing dwarsprofiel en relatie met verkeersveiligheid

Het dwarsprofiel van een weg is gedefinieerd als de verticale doorsnede loodrecht op de as van weg (CROW, 2002). De benodigde ruimte in het dwarsprofiel wordt bepaald door de verhardingsbreedte (het aantal rijstroken, rijbanen, redresseerruimte, rijrichtingscheiding); de breedte van de buitenbermen; parallelvoorzieningen (fietspad of parallelweg); en de taluds/bermsloten en dergelijke. In het buitenland is het gebruikelijk de gebiedsgrenzen, die worden bepaald voor de inpassing van de weg en aanverwante functies, formeel, juridisch vast te leggen. Dit wordt de 'road reserve' of 'right of way' genoemd. Binnen de voorgeschreven 'right of way' kunnen de verschillende functies worden ingepast zonder compromissen te hoeven sluiten die tot discontinuïteiten leiden.

Volgens Duurzaam Veilig (DV) zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- voorkomen van ontmoetingen tussen langzaam en snel verkeer;
- voorkomen van ontmoetingen met grote richtings- en snelheidsverschillen;
- indien voertuigen van de weg raken, de gevolgen hiervan beperken.

Dit betekent voor dwarsprofielen op GOW80-wegen dat er aparte voorzieningen dienen te zijn voor langzaam verkeer, dat de rijrichting fysiek is gescheiden, dat er geen erfaansluitingen zijn (geen kruisend verkeer op wegvakken), dat bermen draagkrachtig zijn en dat er geen obstakels dicht bij de weg staan, tenzij deze botsvriendelijk zijn uitgevoerd. *Paragraaf 3.1* licht de opbouw van het dwarsprofiel toe.

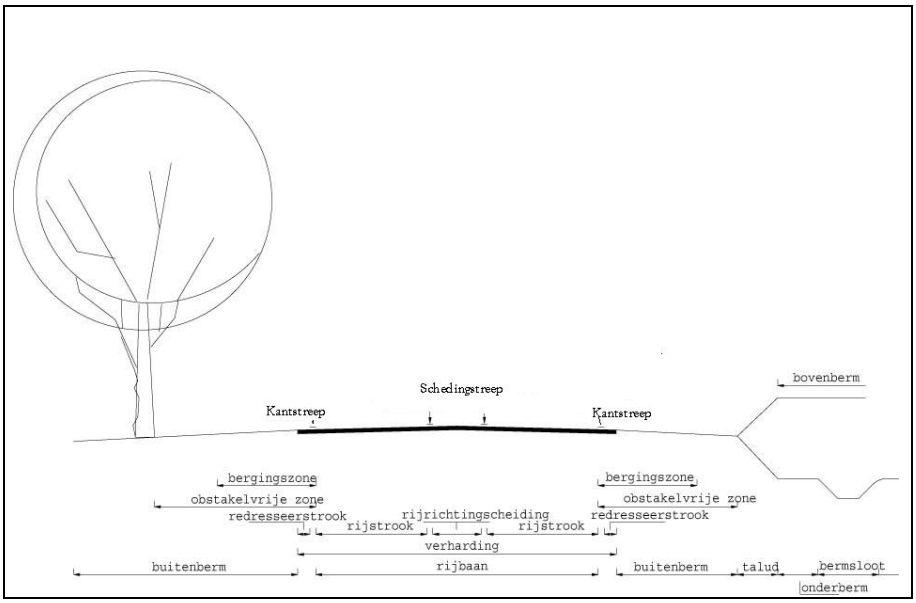
In de rest van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de relatie van de verschillende elementen van het dwarsprofiel met de verkeersveiligheid. Deze relaties worden toegelicht op basis van een (internationale) literatuurverkenning. Hierbij moet direct de kanttekening worden geplaatst dat de resultaten van buitenlands onderzoek niet altijd één-op-één toepasbaar zijn op de Nederlandse situatie. Het is dus vooral het doel van dit hoofdstuk om aan te geven waar en hoe de relatie tussen verkeers-veiligheid en (elementen van) het dwarsprofiel internationaal wordt onderbouwd. Dit geeft inzicht in niet alleen het belang van de relaties, maar ook in de relevantie voor een uiteindelijk goed onderbouwd hoofdstuk over dwarsprofielen in ontwerprichtlijnen.

3.1. Opbouw van het dwarsprofiel

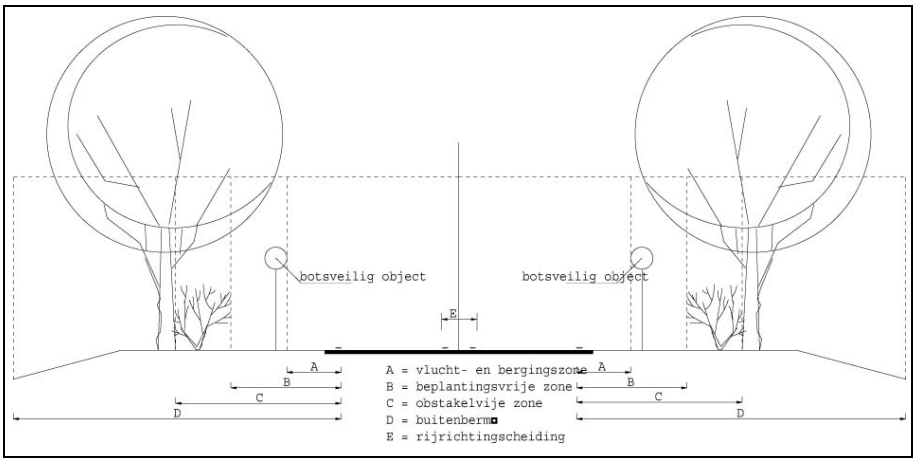
Het dwarsprofiel is een samenstelling van elementen die individueel en gezamenlijk eisen stellen aan de ruimte die een weg in beslag neemt. Deze ruimte wordt niet alleen bepaald door de fysieke ruimte die een voertuig in beslag neemt maar ook door de ruimte die nodig is om veilig voort te kunnen bewegen zonder in aanraking te komen met tegenliggers en (gevaarlijke) objecten. Een veiligheidsmarge binnen deze maatvoering dient de beperkingen van mens en voertuig op te vangen.

Samengevat, het dwarsprofiel stelt de volgende ruimtelijke eisen (zie ook *Afbeelding 3.1.* en *Afbeelding 3.2.*):

- *De verkeersruimte*
  Deze wordt bepaald door een combinatie van de afmetingen van het (ontwerp)voertuig en de ruimte die het voertuig en de bestuurder in beslag nemen om voort te bewegen. Een voertuig beweegt nooit in een perfecte rechte lijn en neemt zowel in de breedte als de hoogte meer ruimte in beslag dan wanneer het voertuig stilstaat. Dit komt door kleine stuurcorrecties die nodig zijn om het voertuig op de weg te houden (ook wel de vetergang genoemd) en ook door kleine verticale verplaatsingen als gevolg van het wegdek.
- *Het profiel van vrije ruimte*
  Dit bestaat uit een combinatie van de verkeersruimte en de objectafstand (de afstand die een bestuurder aanhoudt om te voorkomen dat een verticaal object wordt aangereden).
- *De veiligheidszone* (*Afbeelding 3.2.*)
  Dit is de ruimte die wordt gereserveerd voor vlucht- en bergingszone en ook de ruimte waarbinnen geen onbeschermde objecten geplaatst mogen worden (de obstakelvrije zone).



Afbeelding 3.1. *Opbouw van het dwarsprofiel (CROW, 2002).*

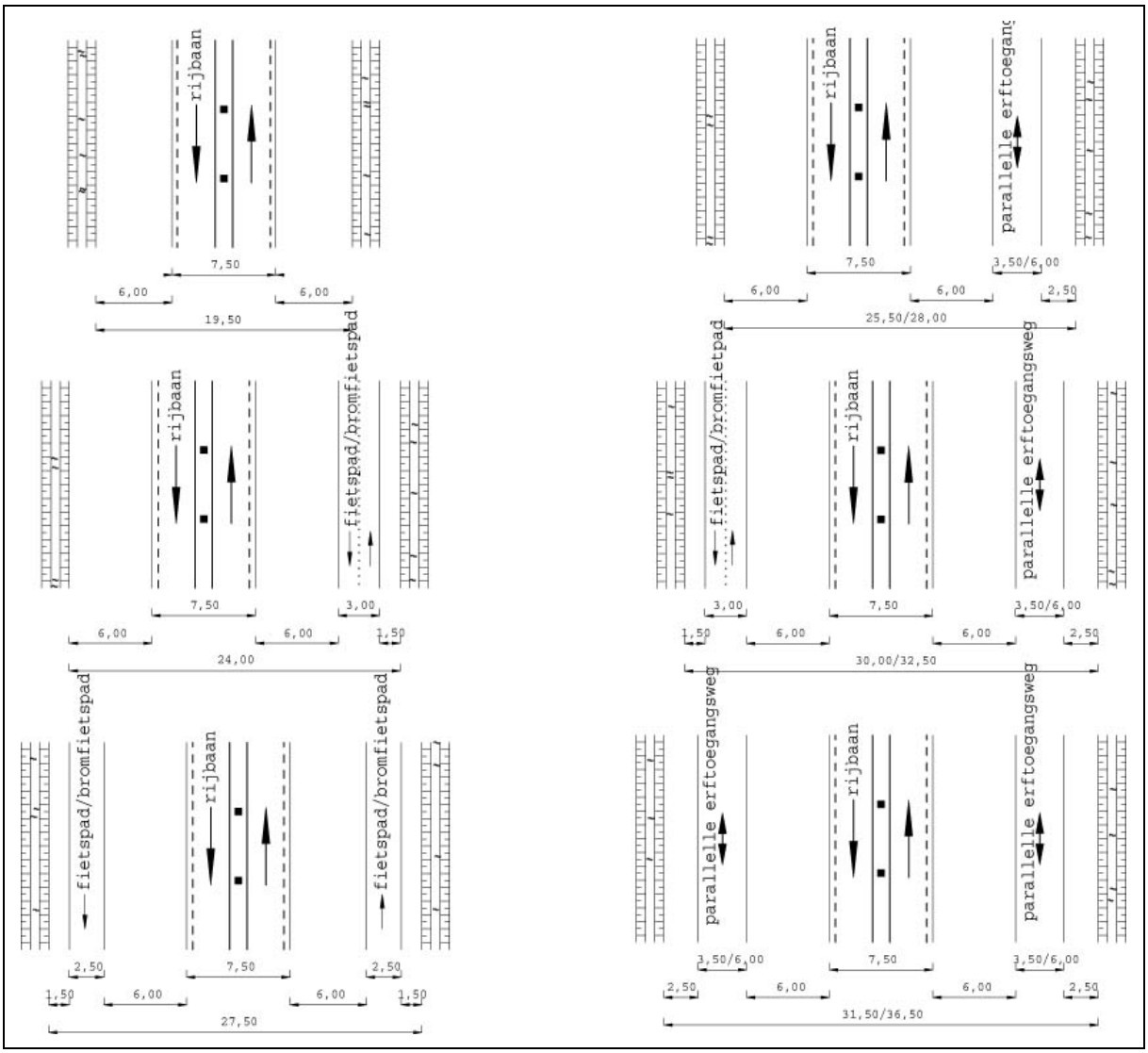


Afbeelding 3.2. *Veiligheidszones (CROW, 2002).*

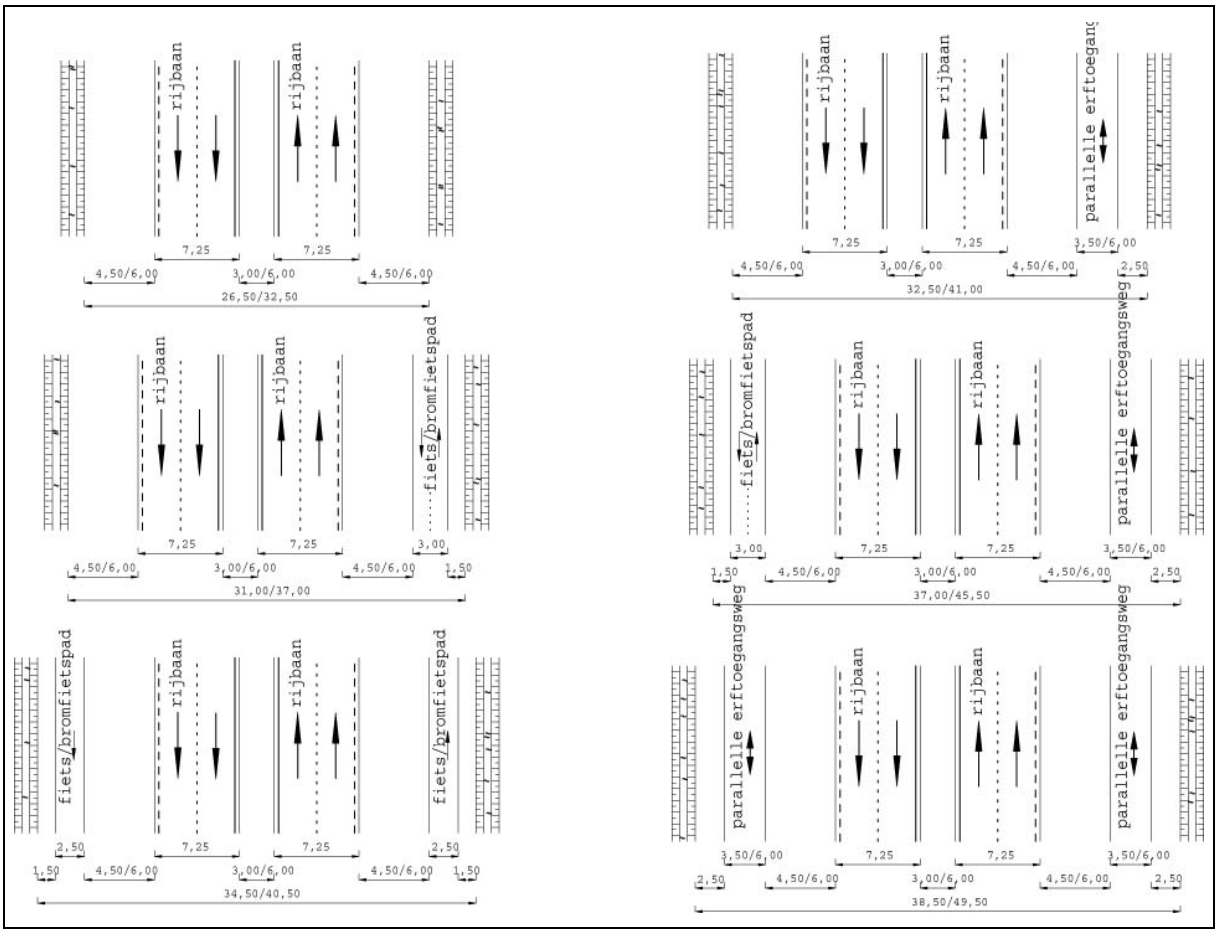
Het meest herkenbare element van het dwarsprofiel is de verharding, die is ingedeeld in rijbanen en rijstroken naar gelang de verkeersvraag. Voor een gebiedsontsluitingsweg is de meest simpele (maar niet-duurzaam veilige) indeling één rijbaan met één rijstrook per rijrichting (1x2) met daartussen een kleine ruimte (de dubbele asmarkering) om het (tegenliggend) verkeer te scheiden (*Afbeelding 3.3*). Daarnaast wordt vaak ook een (kleine redresseer)ruimte aan de buitenzijde van de rijstrook gereserveerd om te voorkomen dat voertuigen door kleine stuurfouten van de weg raken. In sommige gevallen is deze ruimte zo breed dat er sprake is van een volwaardige verharde (buiten)berm.

Vanwege de hoge snelheid op GOW's buiten de bebouwde kom (80 km/uur) wordt in principe geen langzaam verkeer toegestaan. Langzaam verkeer wordt afgewikkeld op een eigen (aparte) rijbaan.

Op moment dat de verkeersvraag hoger is, worden extra rijstroken aangelegd om meer capaciteit te bieden. Omdat in Nederland de enkelbaansweg met drie rijstroken (de 2+1-variant) niet gebruikelijk is, worden wegen met meer dan 1 rijstrook per richting doorgaans dubbelbaans uitgevoerd (2x2; zie *Afbeelding 3.4*).



Afbeelding 3.3. *Ruimtebeslag 1x2-GOW80-dwarsprofiel volgens het HWO (CROW, 2002).*



Afbeelding 3.4. *Ruimtebeslag 2x2-GOW80-dwarsprofiel volgens het HWO (CROW, 2002).*

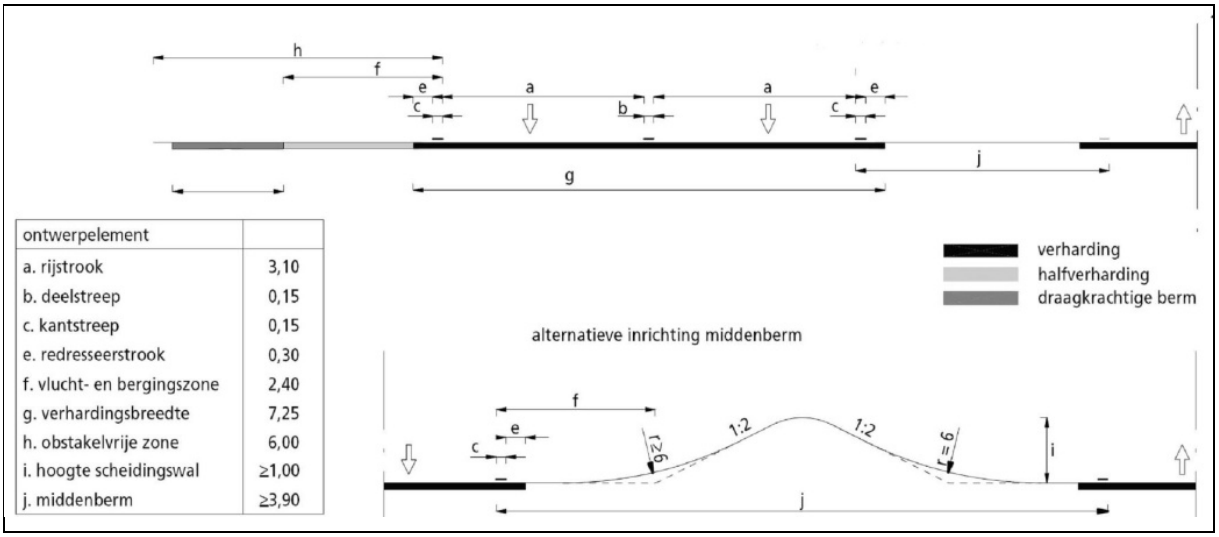
Voor het afvoeren van (regen)water voorziet het dwarsprofiel ook in verkanting. In bochten kan deze verkanting worden vergroot om te compenseren voor de middelpuntvliedende kracht op rijdende voertuigen. Op een enkelbaansweg ligt het wegoppervlak in een dakprofiel (*Afbeelding 3.1.*) terwijl er bij een dubbelbaansweg sprake is van één hellend vlak per rijbaan of een 'op één oor constructie'.
Naast de verharding bestaat het dwarsprofiel ook nog uit (midden- en tussen)bermen die de nodige ruimte bieden om voertuigen die onbedoeld van de weg raken weer onder controle te krijgen zonder letsel, schade aan het voertuig of gevaar voor andere voertuigen. De bermen zijn dus bedoeld om gestrande voertuigen tijdelijk te bergen, een obstakelvrije zone te bieden voor van de weg geraakte voertuigen, rij- en stopzicht in bochten te vergroten, onderhoud te plegen, wegmeubilair te plaatsen en dergelijke.

Bermen worden vaak begrensd door (berm)sloten en taluds. In de praktijk geldt dat ook voorzieningen zoals verlichting, bebording en beplanting in de bermen worden geplaatst. Deze elementen horen bij het dwarsprofiel en zijn voor weggebruikers een bekend onderdeel van het wegbeeld. Ook bijzondere elementen als doelgroepvoorzieningen (zoals busbanen, fietspaden), ov-haltes, rustplaatsen en dergelijke maken deel uit van het dwarsprofiel.

3.1.1. *Dubbelbaans GOW80 (Type I GOW)*

Het ideale dwarsprofiel van een GOW80-weg volgens de BKWO heeft twee rijbanen met één of twee rijstroken per rijrichting (2x1 of meer; CROW, 2012a). De rijbaanscheiding is moeilijk overrijdbaar, vormgegeven als middenberm (dus zonder afschermingsconstructie) met een voorkeursbreedte van 6 meter.

Een weg waarbij vanuit capaciteitsoverwegingen meerdere rijstroken per rijrichting gewenst zijn dient altijd als een GOW Type I te worden uitgevoerd. Van GOW Type I 2x2 geeft het HWO een schematische indeling van het dwarsprofiel. De twee rijbanen zijn elk 7,25 m breed en gescheiden door een fysieke rijbaanscheiding (middenberm, zie *Afbeelding 3.5*). Naast de rijstroken van 3,10 m wordt voorzien in een redresseerstrook, een verharde berm en obstakelvrije zone van 6,0 m. Er gelden strikte voorwaarden om dit type weg toe te passen, waarvan de voornaamste zijn: het scheiden van langzaam verkeer, geen kruisend langzaam verkeer en geen erfaansluitingen.



ontwerpelement	
a. rijstrook	3,10
b. deelstreep	0,15
c. kantstreep	0,15
e. redresseerstrook	0,30
f. vlucht- en bergingszone	2,40
g. verhardingsbreedte	7,25
h. obstakelvrije zone	6,00
i. hoogte scheidingswal	≥1,00
j. middenberm	≥3,90

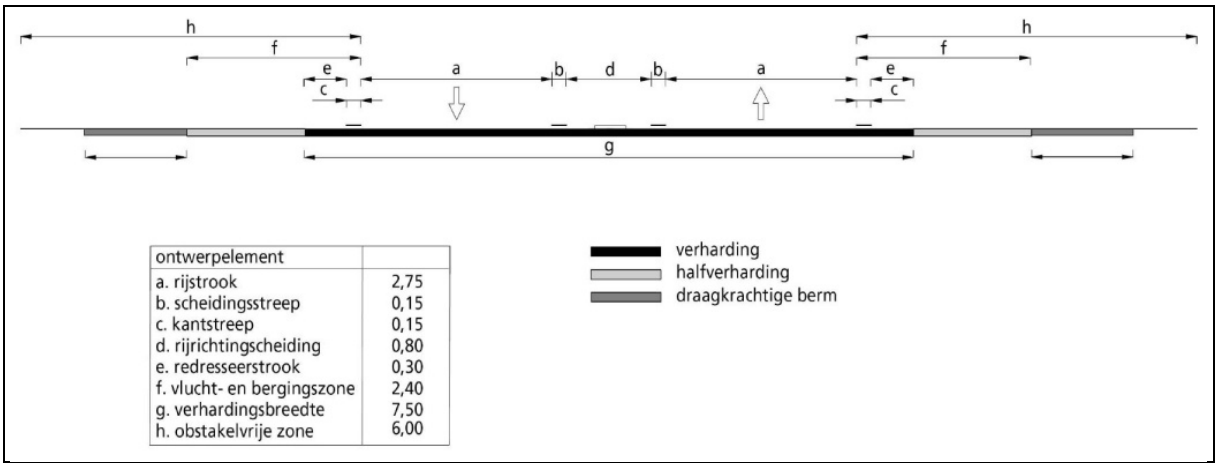
Afbeelding 3.5. *Standaard dwarsprofiel 2x2-GOW (Type I) (CROW, 2012b).*

Het dwarsprofiel Type I voor GOW80 wordt als het ideaal profiel beschouwd in de nieuwe *Basiskenmerken Wegontwerp* (BKWO; CROW, 2012a) en voldoet aan de eisen van Duurzaam Veilig (Koornstra et al., 1992; Wegman & Aarts, 2005).

3.1.2. *Enkelbaans GOW80 (Type II GOW)*

Hoewel een GOW Type I sinds de aanvang van het Startprogramma Duurzaam Veilig als ideaal dwarsprofiel wordt aanbevolen,wordt deze relatief weinig in Nederland aangetroffen. In de praktijk zijn 'GOW80-wegen overwegend uitgevoerd als GOW Type II 1x2, in de BKWO aangeduid als minimale inrichting van een GOW buiten de bebouwde kom.

Het standaarddwarsprofiel van een Type II GOW (CROW, 2012b) heeft een rijstrookbreedte van 2,75 m (*Afbeelding 3.6*) en een verhardingsbreedte van 7,5 m.



ontwerpelement	
a. rijstrook	2,75
b. scheidingsstreep	0,15
c. kantstreep	0,15
d. rijrichtingscheiding	0,80
e. redresseerstrook	0,30
f. vlucht- en bergingszone	2,40
g. verhardingsbreedte	7,50
h. obstakelvrije zone	6,00

Afbeelding 3.6. *Standaard dwarsprofiel 1x2-GOW (Type II) (CROW, 2012b).*

Volgens het HWO is een voorwaarde voor het toepassen van Type II GOW's dat er een volledige geslotenverklaring geldt en dat er geen erfaansluitingen worden toegestaan (CROW, 2012b). Hier verschillen de BKWO en het HWO. In de BKWO wordt bij een dwarsprofiel van een GOW buiten de bebouwde kom (bubeko) met minimale inrichting een geslotenverklaring en het ontbreken van erfaansluitingen als uitgangspunt genomen. De BKWO geven aan dat hier bij uitzondering van kan worden afgeweken, mits compenserende maatregelen worden genomen.[3] Het HWO beveelt echter aan dat het standaarddwarsprofiel ongewijzigd wordt doorgezet, met uitzondering van tunnels en kunstwerken. Dit zijn vaak relatief korte lengtes waardoor de vlucht- en bergingszone (en dus ook de obstakelvrije zone) mogen worden verkleind mits de gevarenzone wordt afgeschermd.

De verkeersveiligheidsconsequenties bij afwijkingen van de aanbevolen breedtes en voorwaarden worden niet in het HWO aangegeven.

3.2. De relatie tussen dwarsprofielelementen en verkeersongevallen

3.2.1. *Rijbaan- en rijstrookbreedte*

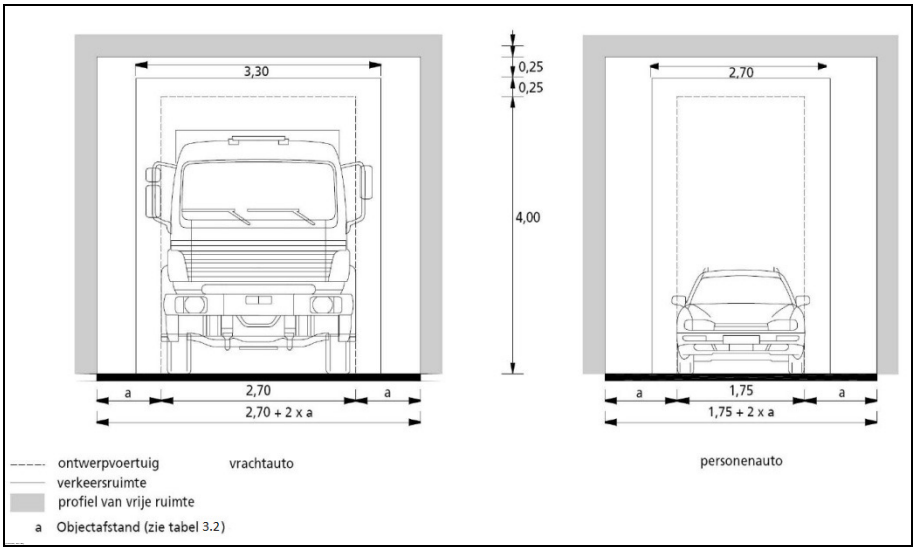
De rijstrookbreedte is het resultaat van de fysieke ruimte die een (ontwerp)voertuig in beslag neemt, de bewegingsruimte van het voertuig in horizontale en verticale zin, en de 'objectvrees' die de gemiddelde bestuurder handhaaft. Het is dus vanzelfsprekend dat een rijstrook voldoende breed moet zijn om te verzekeren dat het gemiddelde voertuig met een gemiddelde bestuurder en bij een gegeven snelheid binnen de rijstrook kan blijven zonder (te) veel inspanning en zonder kans op een aanrijding met objecten of andere voertuigen die zich direct naast de rijstrook bevinden. Voor verkeersveiligheid is dus het profiel van vrije ruimte van groot belang voor de uiteindelijke keuze van een standaard rijstrookbreedte.

Naarmate het gemiddelde voertuig groter of kleiner is, verandert ook de fysieke ruimte die het ontwerpvoertuig in beslag neemt. De

[3] Met de herziening van het HWO worden dit soort verschillen zo veel mogelijk rechtgetrokken

(ontwerp)snelheid beïnvloedt de vetergang (de vetergang neemt toe met de snelheid) in samenhang met het wegdek en de verticale beweging van het voertuig. Deze elementen samen bepalen de aanbevolen verkeersruimte ofwel het profiel van vrije ruimte (*Afbeelding 3.7*).

Wat betreft de breedte van het ontwerpvoertuig zijn ontwerprichtlijnen gebaseerd op 85^{e} (soms 95^{e}) percentielwaarden. Dit houdt in dat, gegeven een bepaald type voertuig, 85% van de voertuigen op de weg een maat heeft die gelijk is aan, of kleiner is dan die van het ontwerpvoertuig. Omdat een voertuig nu eenmaal niet in een perfect rechte lijn kan rijden (door windstoten, stuurbewegingen) en omdat bestuurders een natuurlijke vrees hebben voor objecten langs of boven de rijstrook, wordt in de richtlijnen rekening gehouden met vetergang en objectvrees. Volgens het HWO (CROW, 2012b) veteert een gemiddeld voertuig tussen 0,5 m en 1,5 m met een gemiddelde van 0,85 m. Vrachtwagens veteren minder. Uitgaande van een ideale situatie (zonder objecten), met een gemiddeld vetergang, beveelt het HWO een profiel van vrije ruimte aan van 3,75 m (voor auto's) en 4,7 m (voor vrachtauto's; zie *Afbeelding 3.7* en *Tabel 3.1*).



Afbeelding 3.7*. Profiel van vrije ruimte voor auto en vrachtauto (CROW, 2012b)*

Ontwerpvoertuig	**Horizontaal (m)**	**Verticaal (m)**
Personenauto	2,70	2,26
Vrachtauto	3,30	4,25

Tabel 3.1*. Verkeersruimte naar ontwerpvoertuig bij een ontwerpsnelheid van 80 km/uur (CROW, 2012b).*

Het profiel van vrije ruimte wordt niet alleen door de vetergang en de grootte van het voertuig bepaald (de verkeersruimte), maar houdt ook rekening met de afstand tot objecten en het type (botsvriendelijke) object (of het solitair of continu is, zie *Tabel 3.2.*).

Aard object	Minimaal/normaal profiel	Objectafstand (m)
Continu object	Normaal	1,00
	Minimaal	0,60
Solitair object	Normaal	1,50
	Minimaal	1,00

Tabel 3.2*. Objectafstand naar aard object bij een ontwerpsnelheid van 80 km/uur (CROW, 2012b).*

Op basis van deze overwegingen en de interactie met de overige (aangrenzende) ontwerpelementen (bijvoorbeeld redresseerstrook of rijstrook) beveelt het HWO rijstrookbreedtes aan voor GOW80-wegen (*Tabel 3.3*).

Situatie	Rijstrookbreedte (m)
Twee of meer aan elkaar grenzende rijstroken	3,10 m
Afzonderlijke rijstrook	2,75 m

Tabel 3.3*. Rijstrookbreedte in rechtstanden en boogstralen >300 m van GOW80-wegen (CROW, 2012b).*

Het HWO legt geen directe verbanden met verkeersveiligheid en geeft aan dat deze moeilijk zijn aan te geven. De volgende verbanden met verkeersveiligheid worden genoemd:
- Smallere rijstroken leiden tot meer kantstreepoverschrijdingen.
- Een versmalling van de rijstrook leidt tot gering lagere snelheden.
- Bij smallere rijstroken treedt sneller spoorvorming op.

3.2.1.1. Internationale vergelijking van rijstrookbreedtes

Een vergelijking van ‘standaard’ rijstrookbreedtes van GOW’s in Nederland met die van vergelijkbare wegen in andere landen geeft aan dat rijstroken op GOW’s buiten de bebouwde kom in Nederland het smalst zijn (*Tabel 3.4*). Dit is toch wel een merkwaardig resultaat, gegeven het feit dat voertuigen op Nederlandse wegen niet veel anders zijn dan in veel van deze landen. Het is daarom waarschijnlijk er vergelijkbare ontwerpvoertuigen worden gebruikt. Het verschil in rijstrookbreedte is daarom het beste te verklaren met de constatering dat in Nederland kleinere veiligheidsmarges (vetergang en objectvrees) worden aangehouden.

Land	Rijstrookbreedte (m)	
	2x1	**2x2**
Brazilië	3,75	3,75
Canada	3,00 – 3,7	3,7
Denemarken	3,0	3,5
Frankrijk	3,5	3,5
Duitsland	3,25 – 3,5	3,5 – 3,75
Griekenland	3,25 – 3,75	3,5 – 3,75
Israël	3,6	3,75
Japan	3,25 – 3,5	3,5 – 3,75
Nederland	***2,75***	***3,1***
Polen	3,0 – 3,5	3,5 – 3,75
Verenigd Koningrijk	3,65	3,65
Verenigde Staten	3,3 – 3,6	3,6
Venezuela	3,6	3,6
Zweden	3,75	n.v.t.
Zuid-Afrika	3,1 – 3,7	3,7

Tabel 3.4. *Internationale rijstrookbreedtes op 80-120km/uur-wegen bubeko (Hall et al., 1995)*.

3.2.1.2. Relatie verhardings- en rijstrookbreedte en verkeersongevallen

Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de relatie tussen rijstrookbreedte en ongevallen. Helaas zijn de resultaten niet altijd eenduidig en vaak afhankelijk van de specifieke omstandigheden van het onderzoek. Bovendien zijn deze onderzoeken zelden beperkt tot enkel de relatie tussen rijstrookbreedte en ongevallen maar gericht op de relatie met de totale verhardingsbreedte (dus in combinatie met redresseerstroken of vluchtstroken, zonder onderscheid te maken naar effecten van de afzonderlijke elementen of verschillende combinaties). De gevonden relaties gelden daarom alleen in vergelijkbare situaties.

Een meta-analyse van Elvik et al. (2009a) naar de verkeersveiligheidseffecten van een rijstrookverbreding op buitenlandse wegen, geeft inconsistente resultaten. Zij vinden tegensprekende resultaten tussen (oude) studies. Een verbreding van de rijstrook van een breedte ónder de daar geldende richtlijn naar een breedte conform de daar geldende richtlijn leidt in de ene studie tot een positief en in de andere studie tot een negatief effect. Bij een verbreding van de rijstrook binnen de bandbreedte van toegestane breedtes, leidt een verbreding tot een positief effect (een daling van de ongevallen). Het is dus niet mogelijk om hier conclusies aan te verbinden.

Veel recenter Amerikaans onderzoek op wegen met een verhardingsbreedte van 7,8-9,6 m, met 1.000 voertuigen/etmaal en een maximumsnelheid van meer dan 40 km/uur, geeft aan dat een rijstrookverbreding van 3 m naar 3,6 m (binnen een gegeven verhardingsbreedte en een minimale redresseerstrookbreedte van 0,3 m) kan leiden tot 3 tot 6% minder ongevallen (Gross

et al., 2009). Dit resultaat lijkt consistent met de aanbevelingen in de *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010) waar Crash Modification Factors (CMF's) voor bepaalde rijstrookbreedtes worden gegeven. Hieruit is te zien dat het aantal ongevallen toeneemt op rijstroken smaller dan de standaard 3,6 m rijstrook.

Rijstrookbreedte (m)	CMF naar intensiteit		
	<400	400 – 2.000	>2.000
2,7	1,05	$1,05+2,81x10^{-4}$(AADT-400)	1,50
3	1,02	$1,02+1,75x10^{-4}$(AADT-400)	1,30
3,3	1,01	$1,01+2,50x10^{-5}$(AADT-400)	1,05
3,6 en meer	1,00	1,00	1,00
Noot: AADT = Intensiteit (voertuigen/etmaal). Analyses op basis van enkelvoudige, frontale en flankongevallen			

Tabel 3.5*. Crash modification factors naar rijstrookbreedtes op wegvakken (AASHTO, 2010).*

In Nieuw-Zeeland wordt 3,5 m als een optimale rijstrookbreedte beschouwd voor 1x2-wegen buiten de kom (NZ Transport Agency, 2011). Onderzoek daar geeft aan dat verbreding van de verharding, ongeacht of deze aan de rijstrook of de vlucht-/redresseerstrook wordt toegevoegd, leidt tot een verbeterde verkeersveiligheid. Uit onderzoek naar specifiek de rijstrook-breedte is gebleken dat een verbreding van de rijstrook van 2,7 tot 3,0 m leidt tot 13% minder ongevallen, van 3,00 tot 3,3 m tot 19% minder ongevallen en van 3,3 m tot 3,6 m tot 5% minder ongevallen.

Ook in Australië is uitgebreid onderzoek gedaan naar de relatie tussen de verhardings- en rijstrookbreedte en verkeersveiligheid (McLean, Veith & Turner, 2010b). Daar is gevonden dat het ongevalsrisico op rijstroken met minder dan 3 m breedte 56% hoger is dan op rijstroken met een breedte van 3 tot 3,5 m. Daarnaast hebben redresseerstroken van meer dan 1 m breedte een 33% lager ongevalsrisico dan smallere (<1,0 m) redresseerstroken.

Op basis van onderzoek van Corben et al. (1997) worden de ongevals-risico's van verschillende verhardingsbreedtes afgezet tegen een (ideale) verhardingsbreedte van 10 m (2 x 3,5m-rijstroken, 2 x 1,5m-redresseer-strook). Zo heeft een 7,0m-profiel 1,65 keer zo hoog risico als een 10m-profiel, en heeft een 8,0m-profiel 17% minder risico dan een 7,0m-profiel maar 37% meer dan een 10m-profiel. Dit is consistent met het eerder besproken onderzoek van Gross et al. (2009). Zij vonden dat enkelbaans wegen buiten de bebouwde kom met een verhardingsbreedte van 7,92-9,14 m een 11-36% hoger ongevalsrisico hadden dan wegen met een verhardingsbreedte van 9,75-10,97 m.

3.2.2. *Middenberm*

3.2.2.1. Dubbelbaanswegen of wegen met meerdere rijstroken per rijrichting

De middenberm heeft als hoofdfunctie het scheiden van tegenstelde verkeersstromen en is een voorkeurskenmerk van een GOW (CROW, 2012a), ongeacht het aantal rijstroken (2x1 of 2x2). De breedte en

vormgeving van de middenberm zijn afhankelijk van onder andere de beschikbare ruimte in het dwarsprofiel en de breedte van de andere elementen (balans van het dwarsprofiel als geheel), de afstand tussen kruispunten, het aantal oversteken en andere voorzieningen. Deze ruimte functioneert als fysieke scheiding van de rijrichtingen, correctieruimte voor voertuigen die van de weg raken; biedt ruimte voor linksafvakken bij kruispunten; biedt ruimte voor capaciteitsuitbreiding, beplanting, en dergelijke. Om de gescheiden GOW80-weg te onderscheiden van een stroomweg wordt in het HWO bewust aanbevolen géén geleiderail in de middenberm toe te passen (CROW, 2012b).
De minimumbreedte van de middenberm (gemeten van de kant van de verharding) bedraagt 3,0 m (CROW, 2012b) en bij voorkeur 6 m. De breedte mag naar gelang van plaatselijke omstandigheden (bijvoorbeeld tunnels, kunstwerken) over korte afstanden worden verminderd. Hoe deze waarden precies tot stand zijn gekomen wordt niet onderbouwd. Evenmin worden de verkeersveiligheidseffecten of -implicaties besproken.

De Type I (2x1-)weg lijkt in de internationale literatuur niet vaak voor te komen en er is weinig bekend over het netto-effect van een rijbaan-scheiding/middenberm op een 2x1 weg.

Op bubekowegen met meer dan één rijstrook per rijrichting is een middenberm gebruikelijk in zowel Nederland als in het buitenland. Van deze variant is ook meer bekend over de verkeersveiligheidseffecten. Zo is bijvoorbeeld uit een internationale meta-analyse gebleken dat op een 2x2-bubekoweg 12% minder letselongevallen plaatsvinden dan op een enkelbaans vierstrooksweg (Elvik et al., 2009b).

De breedte en de vormgeving van de middenberm heeft ook een relatie met verkeersongevallen en deze is vooral bekend voor wegen met twee of meer rijstroken per rijbaan. In een onderzoek van Harkey et al. (in Srinivasan et al., 2009) naar de relatie tussen ongevallen en de breedte van middenbermen (zonder geleiderail) valt op dat, ongeacht de aanwezigheid van erfaansluitingen of andere beperkingen, een bredere middenberm leidt tot minder ongevallen (*Tabel 3.6*). Omdat middenbermen vooral zijn bedoeld om te voorkomen dat voertuigen op de verkeerde rijbaan belanden, zal het effect op andersoortige ongevallen (bijvoorbeeld enkelvoudige) kleiner zijn dan op alleen de doorsteekongevallen (‘cross median’). Dat blijkt ook uit het onderzoek van Harkey.

Breedte middenberm (m)	2x2 bubeko-weg *met* geslotenverklaring en *zonder* erfaansluiting		2x2 bubeko-weg *zonder* geslotenverklaring en *met* erfaansluiting	
	Alle ongevallen	Doorsteekong.	Alle ongevallen	Doorsteekomg.
3	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,96	0,86	0,95	0,84
9	0,93	0,74	0,91	0,71
12	0,90	0,63	0,87	0,60
15	0,87	0,54	0,83	0,51
18	0,84	0,46	0,79	0,43
21	0,81	0,40	0,76	0,36
24	0,78	0,34	0,72	0,31
27	0,75	0,29	0,69	0,26
30	0,73	0,25	0,66	0,22
Noot: Doorsteekongevallen ('cross median') zijn ongevallen waarbij voertuigen de middenberm doorkruisen, typisch tussen voertuigen in tegenstelde richting ofwel frontale botsingen.				

Tabel 3.6. *Crash modification factors voor verschillende middenberm-breedtes op 2x2-wegen buiten de kom (Srinivasan et al., 2009).*

Eind 2009 is een vervolgonderzoek uitgevoerd naar het effect van de middenbermbreedte op ongevallen als onderdeel van het National Cooperative Highway Research Programme (Stamatiadis et al., 2009). Volgens dit onderzoek zijn er twee dominante relaties tussen de breedte van de middenberm en ongevallen:

- Het aantal frontale ongevallen neemt af naarmate de breedte toeneemt.
- Het aantal (midden)bermongevallen neemt toe naarmate de breedte toeneemt tot ca. 10 m. Dit is het gevolg van een verschuiving van frontale ongevallen naar bermongevallen en de mogelijke plaatsing van barriers in een krappe middenberm.

Stamatiadis et al. (2009) hebben het Highway Safety Information System (Griffith & Council, 1999; Paniati & Council, 1991; Reurings, 2008) gebruikt om relaties te leggen tussen ongevallen, rijstrookbreedte, redresseerruimte/ vluchtruimte en middenbermbreedte op meerstrookswegen buiten de kom en daarvoor Crash Modification Factors (CMF's) te berekenen. Helaas geeft het onderzoek niet aan wat de snelheidslimieten op de wegen zijn, maar op dit soort van wegen geldt doorgaans een limiet van tussen de 55 en 65 mijl/uur (88-104 km/uur) die varieert per staat. Deze analyses hebben een significante relatie aangetoond tussen ongevallen met meer dan één voertuig en middenbermbreedte (een toename in breedte leidt tot minder ongevallen). Dit resultaat is vervolgens opgenomen in de HSM (AASHTO, 2010).

Soort ongeval	Crash Modification Factor naar breedte middenberm (m)							
	3	6	9	12	15	18	21	24
Twee of meer voertuigen	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,51

Tabel 3.7*. CMF naar middenbermbreedte op dubbelbaanswegen (Stamatiadis et al., 2009).*

Terughoudendheid is echter gepast bij het overnemen van effectschattingen van de verschillende wegkenmerken uit het onderzoek van Stamatiadis et al. De modellen zijn ontwikkeld op basis van een database waarin zich tevens wegen met barriers in de middenberm bevinden. Omdat de effecten van de middenbermbreedte op de verkeersveiligheid sterk is gecorreleerd met de aanwezigheid van een barrier of geleiderail, kan dit significante effecten hebben gehad op de parameterschattingen. Er kan daarom niet worden uitgesloten dat effectschattingen negatief zijn beïnvloed door bijvoorbeeld een verhoogde kans op enkelvoudige ongevallen als gevolg van de combinatie van een (smalle) middenberm met een barrier.

3.2.2.2. Rijrichtingscheiding op enkelbaanswegen

Een veel voorkomende weg in Nederland is de 1x2-weg die in principe geen middenberm kent (vanwege beheer en onderhoud en hulpdiensten) maar wel een rijrichtingscheiding in de vorm van een dubbele asmarkering van tussen de 18 en 110 cm breed (CROW, 2012a; 2012b). Het HWO geeft voor dit wegtype de voorkeur aan een dubbele asmarkering met een moeilijk overrijdbare rijrichtingscheiding in de vorm van lage verticale elementen (5 cm) in de scheiding met een onderlinge afstand van 15-25 m en diagonaal liggend, onder een hoek van 45^{o} met de as. De moeilijk overrijdbare rijrichtingsscheiding lijkt effectief te zijn in het ontmoedigen van ongewenst inhaalgedrag en het reduceren van het aantal snelheidsovertredingen. In een Nederlandse studie naar de effecten op inhaalgedrag van broodjes/ strips en flexibele paaltjes (flappen) op 80km/uur-wegen bubeko, werd gedurende een meetperiode van vier werkdagen niet meer ingehaald terwijl in de oude situatie met een dubbele asmarkering met tussenafstand van 90 cm 1 % van de voertuigen inhaalmanoeuvres uitvoerden (Van de Pol & Janssen, 1998). Tevens werd in dezelfde studie een reductie van 17% van de snelheidsovertredingen gemeten. (Dit onderzoek is echter niet herhaald op grotere schaal.)

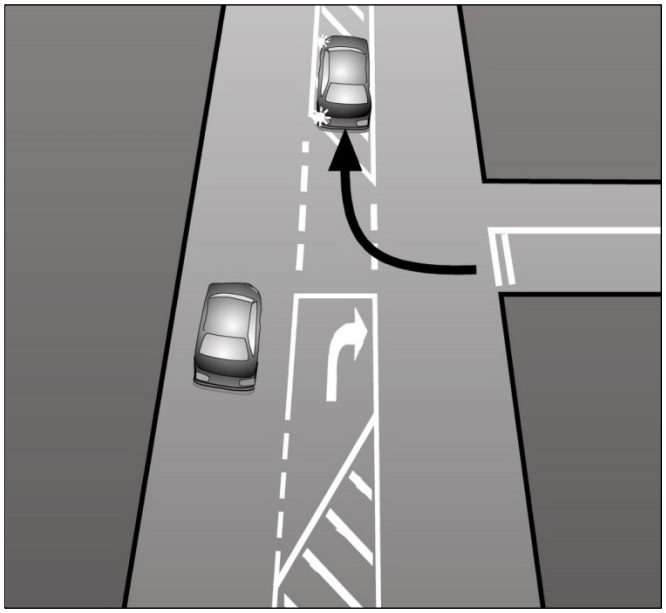
Hoewel verkeersveiligheid nadrukkelijk wordt besproken, geeft het HWO weinig onderbouwing om de keuze tussen bijvoorbeeld een smalle scheiding en een brede scheiding met verticale elementen inzichtelijk te maken.

Elvik heeft onderzoek gedaan naar het aanbrengen van een harde rijrichtingscheiding (betonnen barrier en dergelijke, niet een cable barrier) op een bestaande 1x2-weg, dus zonder middenberm. Hoewel de rijrichting-scheiding frontale ongevallen voorkomt, vinden er meer aanrijdingen met de barrier plaats waardoor het verkeersveiligheidseffect negatief is (Elvik et al., 2009b).

In Zweden wordt de cable barrier grootschalig toegepast op 2+1-wegen en zijn de ervaringen zeer positief (Bergh & Moberg, 2005). Deze cable barrier

wordt toegepast op een enkele rijbaan in de dubbele asmarkering met een afmeting van 1 á 1,5 m. In de periode 1998-2005 zijn meer dan 1.000 kilometer 2+1-wegen met cable barrier aangelegd. Daarbij is het aantal ongevallen met dodelijk afloop met 80% gedaald en het aantal ernstige letselongevallen met 50%. Door dit succes is Zweden van plan om minstens 80% van alle rijkswegen met verkeersintensiteiten boven 4.000 voertuigen/etmaal te voorzien van een fysieke rijrichtingscheiding (in dit geval cable barrier). Inmiddels is Zweden ook begonnen om alle rijkswegen met lagere etmaalintensiteiten aan te passen.

Een andere (vergelijkbare) vorm van de rijrichtingscheiding die in de VS en Nieuw-Zeeland veelvuldig wordt toegepast is de 'flush median' (zie *Afbeelding 3.8*).



Afbeelding 3.8. *Flush median (NZ Transport Agency, 2006).*

Dit betreft een (brede) dubbele asmarkering, opgevuld met diagonale markering. Flush medians vergroten de afstand tussen de rijrichtingen en bieden, naast een overrijdbare rijrichtingscheiding, ook ruimte voor afslaande bewegingen van en naar erfaansluitingen en zijwegen van lagere orde. 'Flush medians' zijn daarmee vergelijkbaar met minimale inrichtings-varianten voor Regionale Stroomwegen en GOW buiten de bebouwde kom in Nederland (CROW, 2012a). Namelijk een rijrichtingscheiding op de rijbaan zonder verticale elementen, enkel gescheiden door een dubbele asmarkering, eventueel gevuld met een extra (akoestische) markering.

In Nieuw-Zeeland is het aantal ongevallen op wegen waar de maatregel is toegepast met 19% gedaald (kop-staartbotsingen zijn met 66% gedaald en ongevallen waarbij voetgangers betrokken zijn, zijn met 30% gedaald; NZ Transport Agency, 2006). Onzeker is of dit wegen binnen of buiten de kom zijn, of juist alle wegen. In Nieuw-Zeeland wordt doorgaans een minimale breedte van 1 m aangehouden, met een verbreding van de flush median bij de aanwezigheid van kruispunten en erfaansluitingen. Deze minimale

breedte komt overeen met de voorkeursbreedte van de dubbele asmarkering (inclusief de belijning) volgens de EHK (1,1 m).

Onderzoek in vooral Amerika naar het gebruik van 'flush medians' op tweestrooks enkelbaanswegen geeft een verkeersveiligheidseffecten van 44% minder ongevallen bij verkeersintensiteiten onder de 5.000 voertuigen/etmaal en 52% bij intensiteiten boven de 5.000 per etmaal (Gan, Shen & Rodriguez, 2005).

In zowel Nieuw-Zeeland als de VS is een positief effect van de flush median gevonden. Er zijn echter geen indicaties gevonden dat de breedte van de flush median in Amerika wordt teruggebracht naar 1 meter, bij het ontbreken van aansluitingen op wegvakken. Verschillen in de geschatte effecten kunnen daarom voortkomen uit verschillen in de uitvoering van de flush median. Ook is het mogelijk dat verschillen voortkomen uit lokale factoren.

Het Amerikaanse onderzoek is in veel vigerende richtlijnen en handleidingen in Amerika en elders (AASHTO, 2010; FHWA, 2007; NZ Transport Agency, 2011) toegepast voor schattingen van de verkeersveiligheidseffecten (Crash Reduction Factors – CRF's of Crash Modification Factors – CMF's). Dit ondanks het feit dat de effectschattingen zijn gebaseerd op enkel de ervaringen in New York State. Aangezien de onderzoeksrapportages van de New York Department of Transportation niet beschikbaar zijn en deze onderzoeksresultaten ook ontbreken in bekende meta-analyses, kan de betrouwbaarheid van de effectschattingen niet worden getoetst.

De resultaten uit zowel Nieuw-Zeeland als Amerika zijn veelbelovend; de maatregel dient daarom in pilots te worden onderzocht in Nederland.

3.2.3. *Bermen*

Een berm bestaat uit twee hoofdonderdelen, de vlucht- en bergingszone of -ruimte (inclusief de redresseerstrook) en de restruimte die de obstakelvrije zone bepaalt. De berm heeft als hoofddoel het bieden van (redresseer)ruimte indien een voertuig (onbedoeld) van de rijbaan raakt en bergingszone indien een voertuig onklaar raakt. De berm dient zo te worden vormgegeven dat de bestuurder van het voertuig de gelegenheid krijgt om de koers te corrigeren zonder direct van de weg te raken. Indien hij wel van de weg raakt, dient de berm zo te zijn ingericht dat de bestuurder het voertuig onder controle kan brengen zonder in aanraking te komen met objecten, het concept van een vergevingsgezinde weg (Aarts et al., 2009; Wegman & Aarts, 2005).

3.2.3.1. De vlucht- en bergingszone (incl. redresseerstrook)

De redresseerstrook, vlucht- en bergingszone zijn belangrijke onderdelen van het dwarsprofiel en bieden de ontwerper de mogelijkheid om te zorgen voor extra capaciteit, veiligheid en flexibiliteit bij onderhoud. Daarnaast is deze ruimte belangrijk ter bescherming van de kant van het wegdek. Deze ruimte kan verschillende vormen aannemen:

- verhard (asfalt);
- semi-verhard of draagkrachtig (bijvoorbeeld grasbetontegels);
- onverhard.

In de vlucht- en bergingszone mogen in principe geen continue vaste objecten worden geplaats. Solitaire voorwerpen mogen worden geplaatst, mits buiten het profiel van vrije ruimte, botsveilig uitgevoerd (volgens NEN – EN 12767) en met voldoende afstand tussen de voorwerpen (CROW, 2012b). De relatie tot de verkeersveiligheid komt in Hoofdstuk 8 en 15 van het HWO aan bod, waarbij tevens eisen aan de dimensionering en vormgeving worden gesteld (bijvoorbeeld aan beplanting, obstakels en dergelijke). Inzicht in de kwantitatieve effecten op de verkeersveiligheid bij afwijking van de richtlijn wordt niet geboden.

Op GOW80-wegen is het gebruikelijk de redresseerstrook te asfalteren (als onderdeel van de verharding) en de vlucht- en bergingszone semi-verhard, draagkrachtig of zelfs onverhard te laten. Het komt wel steeds vaker voor dat het onverharde deel semi-verhard of draagkrachtig wordt aangelegd. In enkele situaties is de volledige breedte verhard.

Verharde bermen zijn geen onderdeel van de rijweg maar kunnen deel uitmaken van de rijbaan. Een weg dient te zijn voorzien van voldoende ruimte om een voertuig veilig (tijdelijk) te kunnen bergen indien deze met pech komt te staan. De breedte van de bergingszone is gebaseerd op de breedte van een personenauto plus uitstapruimte en bedraagt ten minste 2,40 m (CROW, 2012b). Deze vlucht- of bergingszone dient draagkrachtig te zijn om enerzijds insporing door van de weg geraakte voertuigen te voorkomen en anderzijds te voorkomen dat voertuigen bij pech (gedeeltelijk) op de rijbaan blijven staan. Het HWO beveelt aan om 3 m van de berm direct aanliggend aan de verharding te versterken (draagkrachtig te maken) zodat een van de weg geraakte voertuig met niet meer dan 20 mm kan insporen. Echter, ook hier geeft het HWO geen inzage in de directe relatie met verkeersveiligheid of van de consequenties indien hiervan wordt afgeweken.

De vlucht- en bergingszone op GOW80-wegen in Nederland is vergelijkbaar met het concept ‘shoulder’ in het buitenland. In het buitenland is deze ruimte vaak verhard (paved shoulder). Daar waar die onverhard is, is die draag-krachtig. De in Nederland gebruikelijke redresseerstrook is vergelijkbaar met het buitenlands concept van een ‘narrow paved shoulder’.

Evenals bij de rijstrookbreedte, is ook de ruimte die in Nederland wordt gereserveerd voor de redresseerstrook/paved shoulder de smalste in vergelijking met die in een aantal buitenlanden (*Tabel 3.8*)

Land	Redresseer- en/of vluchtstrookbreedte (m)	
	2x1	**2x2**
Brazilië	2,5	3,0 (l) en 1,0 (r)
Canada	1,5 – 3,0	
Denemarken	2,5	3,5
Frankrijk	2,5	3,0
Duitsland	1,5	1,5 – 2,5
Griekenland	1,5 – 2,0	1,5
Israël	3,0	3,0
Japan	1,75	>2,5
Nederland	***0,2-0,45***	***0,3 – 3,5***
Polen	2,0 – 2,75	2,5 – 3,0
Verenigd Koningrijk	1,0	3,3 (l) en 1,0 (r)
Verenigde Staten	1,2 – 2,4	3,0-3,6 (r) en 1,2 -3,6(l)
Venezuela	1,8 – 2,4	2,4-3,0 (r) en 0,9-1,2 (l)
Zweden	0,75	
Zuid-Afrika	1,0 – 3,0	>2,0

Tabel 3.8. *Internationale vlucht- en redresseerstrookbreedte op 80- tot 120km/uur-wegen bubeko (Hall et al., 1995).*

Voor ‘shoulders’ zijn de volgende CMF’s berekend met als referentie een verharde berm van 1,8 m. Dit laat zien dat hoe smaller deze ruimte is hoe meer ongevallen er zullen zijn.

Breedte bergingszone (m)	CMF naar breedte bergingszone (shoulder)		
	<400	**400 – 2.000**	**>2.000**
0	1,10	$1{,}10+2{,}51\times10^{-4}$(AADT-400)	1,50
0,6	1,07	$1{,}07+1{,}43\times10^{-4}$(AADT-400)	1,30
1,2	1,02	$1{,}02+8{,}125\times10^{-5}$(AADT-400)	1,15
1,8	1,00	1,00	1,00
>2,4	0,98	$0{,}98-6{,}875\times10^{-5}$(AADT-400)	0,87
Noot: AADT = Intensiteit (voertuigen/etmaal) . Analyses op basis van enkelvoudige, frontale en flankongevallen			

Tabel 3.9. *CMF’s naar breedte verharde berm (AASHTO, 2010).*

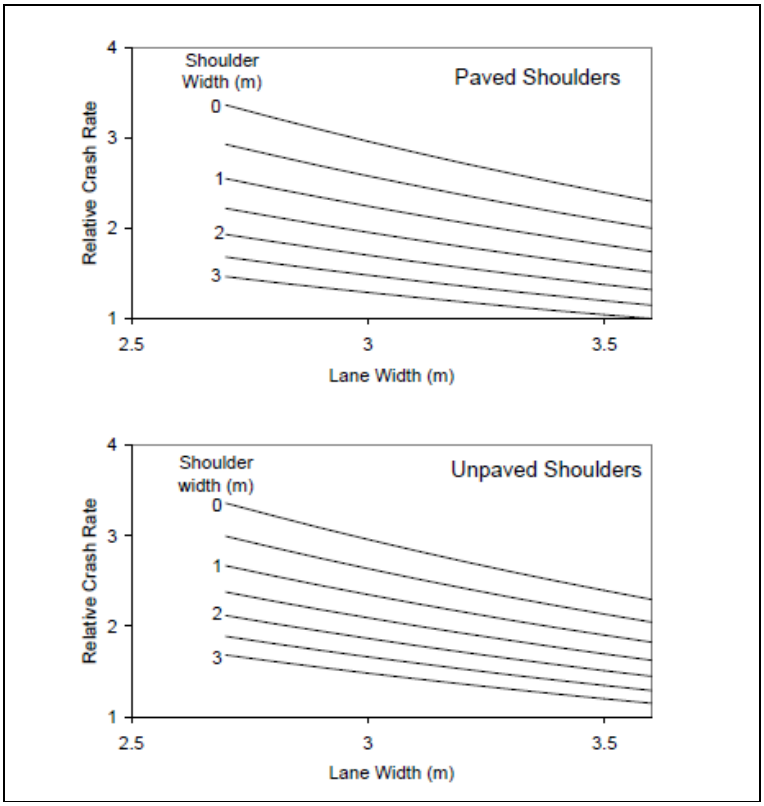
Er zijn twee stromingen aan te duiden in de onderzoeksliteratuur over de relatie tussen de verkeersveiligheid en de breedte van de vlucht- en bergingszone:

- Het aantal ongevallen neemt af naarmate de vlucht- en bergingszone toeneemt.
- Een bredere vlucht- en bergingszone zorgt voor een verruiming van het wegbeeld, wat leidt tot een toename in de snelheid en waarmee de verkeersveiligheid verslechtert (de ernst van ongevallen neemt toe als gevolg van hogere botssnelheden).

Deze discussie geeft aan dat de verkeersveiligheid niet afhankelijk kan zijn van een enkel dwarsprofielelement maar eerder van de manier waarop de elementen zijn samengesteld in één profiel. Het aantal rijstroken, de rijstrookbreedte en de vlucht- en bergingszone zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden en het is deze samenstelling die invloed heeft op hoe veilig of onveilig de situatie is.

Vooral in de VS is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen verkeersongevallen en de breedte en het soort verharding van de vlucht-/bergingszone (shoulder). Uitgaande van een referentiesituatie met een 3,6 m rijstrook en een 3,0 m verharde vlucht-/bergingsstrook, geeft een relatief oud onderzoek van de Transportation Research Board aan dat wegen met onverharde stroken iets minder veilig zijn dan de verharde variant (TRB, 1987). In alle gevallen geldt dat hoe smaller de rijstrook en vlucht-/bergingszone, hoe hoger het ongevalsrisico (*Afbeelding 3.9.*).

Ontbrekende semi-verharding en te smalle obstakelvrije zones spelen een belangrijke rol bij het ontstaan van bermongevallen. Onderzoek heeft aangetoond dat wegen zonder verharde redresseer- of vluchtstrook 50% meer bermongevallen hebben (Harwood et al., 2000; Matena et al., 2008).



Afbeelding 3.9. *Ongevalsrisico van verschillende, vlucht- en bergingszones en rijstrookbreedtes vergeleken met een referentie van 3,6 m rijstrook en 3,0 m verharde vluchtruimte (TRB, 1987)*

Meer recentelijk is in Amerika uitgebreid onderzoek gedaan naar de relatie tussen verhardingsbreedte, rijstrookbreedte, vlucht-/bergingsstrookbreedte en verkeersveiligheid op enkelbaans wegen buiten de bebouwde kom, met

op de wegvakken snelheidslimieten van tussen de 24 en 89 km/uur (op sommige wegvakken geldt een lagere limiet vanwege plaatselijke omstandigheden) en meer dan 1.000 voertuigen per etmaal (FHWA, 2009; Gross et al., 2009). Gegeven een bepaalde verhardingsbreedte en vergeleken met een referentie-rijstrookbreedte van 3,05 m, geeft dit onderzoek aan dat bredere rijstroken met smalle vlucht-/bergingsstroken voor verkeersveiligheid het beste resultaat opleveren (*Tabel 3.10* (FHWA, 2009)). Hieruit valt op dat een profiel met een verharding van 10,36 m, rijstroken van 3,35 m en vlucht-/bergingsstrookbreedte van ca. 1,8 m voor veiligheid een voorkeursprofiel lijkt te zijn voor een 2x1-weg. Bij een versmalde verhardingsbreedte lijkt de voorkeur uit te gaan naar (smalle) redresseerstroken en brede rijstroken.

Verhardingsbreedte (m)	**Rijstrookbreedte (m)**		
	3,05	**3,35**	**3,66**
7,92	1,00	0,99	0,96
8,53	1,00	0,99	0,97
9,14	1,00	0,99	0,97
9,75	1,00	0,78	0,94
10,36	1,00	0,78	0,81
10,97	1,00	0,95	0,95

Tabel 3.10*. CMF's naar verharding- en rijstrookbreedte (FHWA, 2009; Gross et al., 2009).*

Ook op meerstrookswegen (2x2 en 1x4) zijn CMF's aanbevolen voor de breedte van vlucht- en bergingszones (zie *Tabel 3.11*). Ook hier geven de resultaten aan dat bredere vlucht-/bergingsstroken leiden tot minder ongevallen. Opvallend is wel dat de verkeersveiligheidswinst van bredere vlucht-/bergingsstroken hoger is op de 1x4-weg.

Wegtype	**Gemiddelde vlucht- en bergingsbreedte* (shoulder width)(m)**						
	0	**0,9**	**1,2**	**1,5**	**1,8**	**2,1**	**2,4**
Enkelbaans (1x4)	1,22	1,00	0,94	0,87	0,82	0,75	0,71
Dubbelbaans (2x2)	1,17	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,77
* Gemiddelde vluchtruimte links en rechts op 2x2 en rechts op 1x4. CMF's zijn gebaseerd op alle ongevallen en ernstklassen							

Tabel 3.11*. CMF's van vlucht-/bergingsstrookbreedte (Brewer, 2012; Stamatiadis et al., 2009).*

3.2.3.2. Obstakelvrije zone

De obstakelvrije zone is de totale ruimte naast de verharding waarbinnen geen (niet-afgeschermde) obstakel/object, en geen (niet-botsveilig vormgegeven) talud of sloot voorkomen. Voor GOW80-wegen wordt een obstakelvrije zone van minimaal 4,5 m aanbevolen met 6,0 m als standaard (CROW, 2012b). Voorwerpen of ontwerpelementen uit het dwarsprofiel die

kunnen leiden tot (ernstige) schade aan het voertuig en letsel aan de weggebruiker worden ook wel aangeduid als gevarenzone.

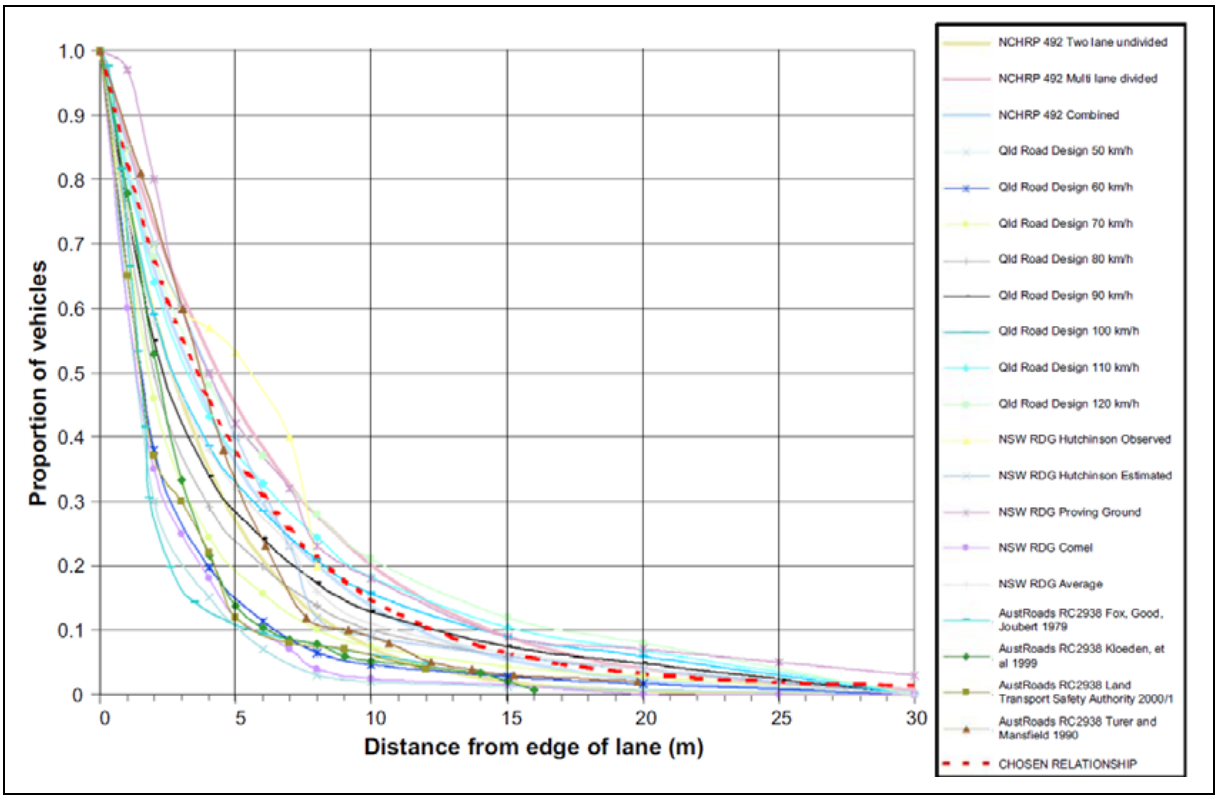
De breedte en inrichting van de obstakelvrije zone, en dan met name de restruimte naast de vlucht- en bergingszone (ook wel de buitenberm genoemd), kan een groot effect hebben op de kans van voertuigen om van de weg te raken, maar ook op de letselernst van de inzittenden. Het is juist de bedoeling van de obstakelvrije zone om bestuurders van de weg geraakte voertuigen de kans te bieden om het voertuig onder controle te brengen (of tot een stop) en zonder risico op letsel als gevolg van een aanrijding met objecten of obstakels.

In het HWO worden obstakelvrije zones van 4,50 m toegestaan als minimumbreedte op GOW80-wegen maar aanbevolen wordt 6,0 m als richtlijn te hanteren. Net als in vele andere richtlijnen (bijvoorbeeld AASHTO) wordt deze maat gebaseerd op oud onderzoek uit de jaren ’60 van onder andere Hutchinson & Kennedy (1966) naar de verdeling tussen voertuigen die van de weg raken en de laterale verplaatsing (afstand vanaf de kant van de verharding) van die voertuigen.[4] Deze relaties zijn ontwikkeld aan de hand van spooronderzoek (in sneeuw, op gras en dergelijke) in zowel de midden- als de buitenberm. Hoewel deze relaties in veel internationale richtlijnen zijn opgenomen, had de onderzoeksmethode zijn beperkingen (Jurewicz & Pyta, 2010; Lynam & Kennedy, 2005):

- Uit spooronderzoek kan niet worden bepaald of voertuigen bewust de weg hebben verlaten (bijvoorbeeld parkeren in de berm, pech) of van de weg zijn geraakt.
- De steekproefwegen waren niet homogeen: sommige wegen waren voorzien van verharde bermen/vluchtstroken en andere niet.
- Er is geen relatie gelegd met ongevallen.
- Het is onbekend of de buitenberm draagkrachtig was of niet (insporing is onbekend).

Het onderzoek van Hutchinson & Kennedy (1966) heeft de basis gelegd voor veel vervolgonderzoek en de ontwikkeling van diverse modellen om de breedte van obstakelvrije zones te bepalen. Deze modellen gaan uit van vlakke bermen langs rechtstanden op wegen met snelheidslimieten van 50-120 km/uur (*Afbeelding 3.10*). Kijkt men naar de modellen op bijvoorbeeld enkelbaans- en dubbelbaanswegen (Stamatiadis et al., 2009) en 80km/uur-wegen dan kunnen 80-90% van de voertuigen binnen 10 m stoppen.

[4] De obstakelvrije zone wordt op twee plaatsen in het HWO besproken op basis van verschillende referenties. De andere referentie die in het HWO is opgenomen is het onderzoek van Schoon & Bos (1983) waarin de relatie is onderzocht tussen de obstakelafstand en het aandeel boomongevallen.



Afbeelding 3.10. *Waarschijnlijkheidsmodellen naar laterale verplaatsingen van voertuigen die van de weg zijn geraakt (Hutchinson & Kennedy, 1966; Jurewicz & Pyta, 2010).*

Een andere aanpak is om de relatie tussen ongevallen en de breedte van de obstakelvrije zone (of de afstand tot objecten) te gebruiken om het ongevalsrisico in beeld te brengen. In Amerika is onderzoek gedaan naar de relatie tussen de gemiddelde afstand tot (de dichtstbijzijnde) objecten langs een wegvak (gemeten vanaf kant verharding) en eenzijdige, frontale en flankongevallen (Zegeer et al., 1988). De relatie, ofwel de CMF, wordt beschreven door:

$$\text{CMF} = \text{Verandering ongevalsrisico voor/na} = (0{,}911)^{(RD2-RD1)}$$

en geeft aan dat wanneer de gemiddelde afstand tot objecten wordt vergroot van bijvoorbeeld 4 naar 6 m de ongevallen met 17% afnemen, waarbij RD1 en RD2 de gemiddelde afstand in resp. de voor- en nasituatie beschrijven.

In een vergelijkbare studie van FWHA is de relatie tussen enkelvoudige ongevallen van het type ‘van de weg geraakt’ (run-off-road; RoR) en de breedte van de obstakelvrije zone door Miaou onderzocht (in Srinivasan et al., 2009). Op basis van data op bijna 3.000 kilometer enkelbaanswegen (de meeste met een snelheidslimiet van 55 mijl/uur of 88 km/uur) is de volgende CMF ontwikkeld voor verbreding van de obstakelvrije zone:

$$\text{CMF (enkelvoudige RoR-ongevallen)} = e^{-0{,}01375(d2-d1)}$$

waar d1 en d2 de breedte van de obstakelvrije zone voor en na verbreding is.

De uitkomsten van de Miaou-CMF geeft een lagere effectschatting dan die van Zegeer. Deze verschillen hebben te maken met de verschillende aanpakken (bijvoorbeeld andere type ongevallen gebruikt, andere basis- of referentiecondities, intensiteiten en dergelijke) en benadrukt nogmaals het belang om de resultaten van verschillende onderzoeken niet zomaar te gebruiken zonder dat de condities en beperkingen volledig bekend zijn.

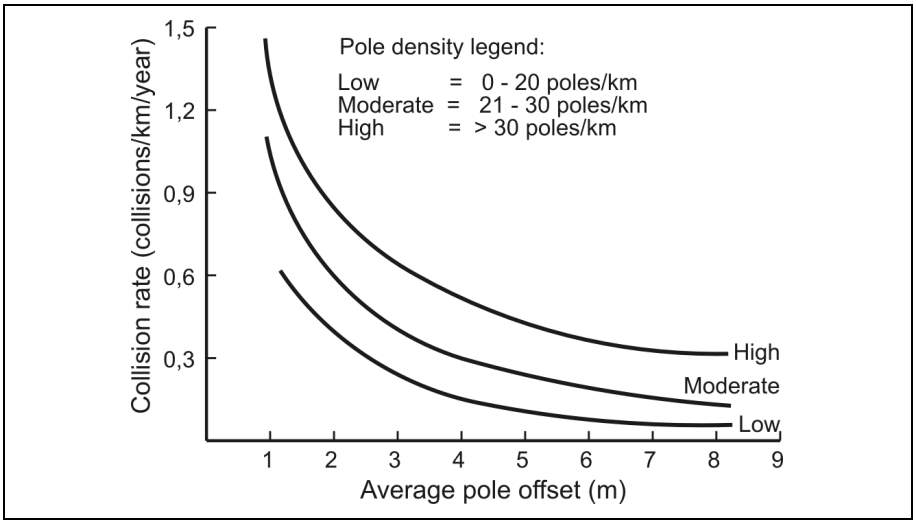
Op bubeko-wegen (enkelbaans en dubbelbaans) past de HSM (AASHTO, 2010) een CMF van 0,78 toe wanneer de obstakelafstand wordt vergroot van 1,0 tot 5,0 m en 0,56 wanneer de afstand wordt vergroot van 5,0 naar 9,0 m.

3.2.3.3. Obstakels en botsveilige objecten

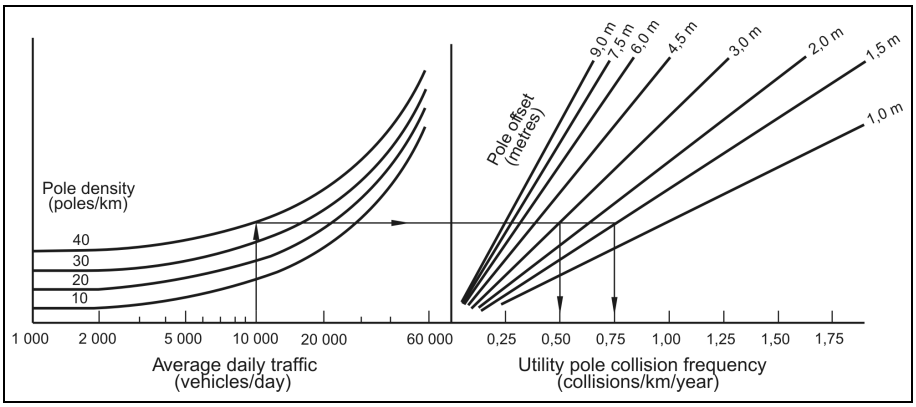
Het HWO definieert obstakels en botsveilige objecten, maar er worden geen directe relaties gelegd met verkeersveiligheid. Wat betreft de eisen die worden gesteld aan botsveilige objecten wordt de lezer verwezen naar de NEN-EN 12676-norm.

In praktijk komen obstakels vaak voor binnen de obstakelvrije zone. Vaak worden deze ook niet afgeschermd, terwijl de richtlijnen dat wel als compenserende maatregel aangeven. Dit kan te maken hebben met de vrijblijvendheid van de richtlijnen die aangeven dat gevarenzones in principe afgeschermd moeten zijn maar ook omdat de verkeersveiligheids-consequenties niet inzichtelijk zijn gemaakt.

In het buitenland zijn relaties gelegd tussen bijvoorbeeld het plaatsen van lichtmasten en ongevallen (*Afbeelding 3.11* en *Afbeelding 3.12*). Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat het ongevalsrisico van een lage dichtheid masten (<20/km) bijna vier keer lager is dan een hoge dichtheid (>30/km) bij een afstand van 5 m van de weg. Ook laat dit zien dat bij een etmaalintensiteit van 11.000 voertuigen per etmaal het ongevalsrisico bij een hoge paaldichtheid (40/km) het risico met een derde afneemt als de ligging gemeten van de kant van de verharding wordt vergroot van 1,5 naar 3,0 m.
Dit soort relaties dient ook te worden overwogen in Nederlandse richtlijnen.



Afbeelding 3.11. *Ongevalsrisico naar lichtmastdichtheid en -ligging (SANRAL, 2001).*



Afbeelding 3.12. *Ongevalsrisico naar etmaalintensiteit, lichtmastdichtheid en -ligging (SANRAL, 2001).*

De SWOV heeft onderzoek gedaan naar de relatie tussen ongevallen en afstanden naar (gesloten) bomenrijen langs wegen (Schoon & Bos, 1983), een onderzoek dat nadrukkelijk wordt aangehaald in het HWO. Schoon heeft modellen voor enkel- en dubbelbaanswegen ontwikkeld waarbij het aandeel boomongevallen (alleen ongevallen bij locaties met gesloten bomenrijen en uitsluitend ongevallen met losstaande bomen) uitgedrukt als aandeel van alle bermongevallen bij een bepaalde intensiteitsklasse, zijn afgezet tegen de breedte van de obstakelvrije zone. Deze modellen laten zien dat naarmate de afstand tussen de weg en de bomenrij toeneemt, het aandeel boomongevallen afneemt. Met de modellen van Schoon kan men voor een bepaalde breedte aan obstakelvrije zone inschatten wat het aandeel boomongevallen zal zijn. Zo wordt het aandeel boomongevallen (boomongevallen/ongevallentotaal) op een provinciale weg (stijl jaren ‘80) met 3,5 m obstakelvrije zone geschat op 10%. Past men deze 10%-grens (voor het aandeel boomongevallen) toe als ontwerpnorm dan geeft het onderzoek van Schoon de volgende breedtes voor de obstakelvrije zone aan:

Enkelbaans provinciale wegen (>5.000 mvt/etmaal)	3,5 m
Enkelbaans rijkswegen (5.000-10.000 mvt/etmaal)	7 m
Dubbelbaans rijkswegen (>30.000 mvt/etmaal)	10 m

Ook het onderzoek van Schoon is beperkt toepasbaar en – zoals ook in het rapport wordt benadrukt – kan niet worden gegeneraliseerd (bijvoorbeeld als richtlijn voor het bepalen van de breedte van de obstakelvrije zone).

3.2.3.4. Taluds

Een talud is onderdeel van de buitenberm en kan, indien slecht vorm-gegeven, een nadelig invloed hebben op de afloop van ongevallen. Daar waar een talud (te) steil is kan het een gevaar vormen voor voertuigen die van de weg raken (bijvoorbeeld een steil neergaande talud kan veroorzaken dat voertuigen eerder over de kop slaan). Het HWO (CROW, 2012b) doet aanbevelingen voor de geometrie van op- en neergaande taluds.

Taluds met een helling van 1:3 of steiler worden altijd als gevarenzone gezien en mogen niet voorkomen binnen de obstakelvrije zone. Indien dit wel het geval is, dient deze altijd te worden afgeschermd. Flauwere hellingen dienen in de context van de lokale omstandigheden te worden

beschouwd. Omdat een talud de zijdelingse verplaatsing in de berm negatief beïnvloedt is een bredere obstakelvrije zone vereist dan normaal aanbevolen, wanneer het talud zich binnen deze zone bevindt.
Als onderbouwing toont het HWO een relatie tussen de taludhelling en de ongevalskans, waaruit blijkt dat de ongevalskans bij een steil talud (1:3 en steiler) 35% groter is dan een flauw talud (1:7 en flauwer).

Ook het hoogteverschil op (neergaande) taluds en de afrondingen (kruin en teen) hebben invloed op de afloop van een van de weg geraakt voertuig. Het HWO beveelt dan ook aan dat de teen- en kruinlijn altijd (en ongeacht het hoogteverschil) worden afgerond op neergaande taluds van 1:3 of flauwer. Neergaande taluds met een helling steiler dan 1:6 en zonder afrondingen worden als gevarenzone bestempeld en dienen te worden afgeschermd wanneer deze zich binnen de obstakelvrije zone bevinden.

Opgaande taluds met onvoldoende afrondingen van de teen- en kruinlijnen en met hellingen steiler dan 1:2 worden in het HWO als gevarenzone bestempeld en mogen dus niet voorkomen binnen de obstakelvrije zone of dienen te worden afgeschermd.

Volgens een meta-analyse (Elvik et al., 2009b) die is uitgevoerd op basis van vrij oud onderzoek uit Amerika, kan het flauwer maken van taluds van 1:3 tot 1:4 tot 42% minder letselongevallen leiden. Wordt de helling van 1:4 tot 1:6 aangepast, dan levert dat 22% minder letselongevallen op.

Op basis van diverse recentere onderzoeken in Amerika zijn CMF's ontwikkelt voor het flauwer maken van taluds (*Tabel 3.12*). Deze CMF's zijn opgenomen in de HSM (AASHTO, 2010) en geven aan dat het effect kleiner is dan Elvik heeft bepaald.

Helling voor	**Helling na**							
	1:4		**1:5**		**1:6**		**1:7**	
	Alle	**Enkel**	**Alle**	**Enkel**	**Alle**	**Enkel**	**Alle**	**Enkel**
1:2	0,94	0,90	0,91	0,85	0,88	0,79	0,85	0,73
1:3	0,95	0,92	0,92	0,86	0,89	0,81	0,85	0,74
1:4			0,97	0,94	0,93	0,88	0,89	0,81
1:5					0,97	0,94	0,92	0,86
1:6							0,95	0,92

Noot : Alle = alle ongevallen; Enkel= enkelvoudige ongevallen
Standaardafwijking niet bekend
In de HSM worden geen verwijzingen naar de bron van het onderzoek gedaan. Het is onbekend of dit vergelijkend of voor- en na-onderzoek betreft.

Tabel 3.12*. CMF's voor het flauwer aanleggen van taluds voor alle en enkelvoudige ongevallen (AASHTO, 2010).*

3.2.4. *Het dwarsprofiel als geheel*

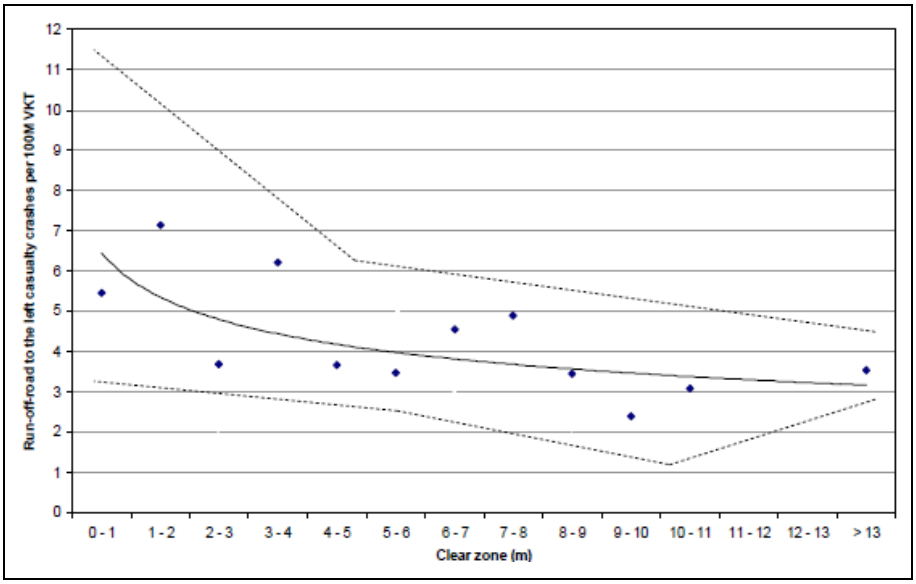
Meer recentelijk is in Australië onderzoek gedaan naar specifiek de relatie tussen de obstakelvrije zone en letselongevallen waarbij voertuigen van de weg zijn geraakt ('RoR'-ongevallen; Jurewicz & Pyta, 2010). In dat

onderzoek zijn analyses uitgevoerd op basis van 60m-wegvakken met per wegvak het aantal letselongevallen in vijf jaar, etmaalintensiteit, rijstrook- en (binnen)bermbreedte; obstakeldichtheid; helling; bochtigheid; en obstakelvrije zone. Het model en het resultaat van de modelfit worden hieronder en in *Afbeelding 3.13* getoond.

$$RoR2L = e^{(\beta 0+\beta 1AADTone+\beta 2Radius+\beta 3Grade+\beta 4TLSS+\beta 5CZ+\varepsilon)}$$

Waar

RoR2L =	aantal RoR-ongevallen links van de weg per 60m-wegvak (1-richting);
β0 =	model-intercept;
β1 - β5 =	parameterschattingen;
AADTone =	etmaalintensiteit (1-richting);
Radius =	bochtradius (categorievariabele);
Grade =	helling (categorievariabele);
TLSS =	breedte rij- en redresseerstrook traffic (categorievariabele);
CZ =	breedte obstakelvrije zone (categorievariabele);
ε =	variantieresidu.



Afbeelding 3.13. *Rijbaan-af-ongevallen naar obstakelvrije zone ('clear zone') in Australië (Jurewicz & Pyta, 2010).*

Het model van Jurewicz is ontwikkeld voor de situatie in Australië en is niet direct toepasbaar voor Nederland (het model is bijvoorbeeld gebaseerd op voor Nederlandse begrippen lage verkeersintensiteiten).

Op soortgelijke wijze heeft Van Petegem gebruikgemaakt van de SWOV-onderzoeksdatabase (Schermers & Duivenvoorden, 2010) om een CPM te ontwikkelen voor bermongevallen op enkelbaans provinciale wegen (Van Petegem, 2012).

De functie van de ongevallenfrequentie, te weten het aantal ongevallen per vijf jaar op een honderdmeterwegvak, van het best presterende model was:

$$\hat{\mu}_i = 7{,}79 \cdot 10^{-6} \cdot JGEI^{1{,}05} \times e^{-0{,}11\frac{JGEI}{1000} + Obst.0{,}41 + Bermb.-0{,}74 + SBocht.1{,}07 + MBocht.0{,}20}$$

En geschreven als functie van het natuurlijk logaritme (ln):

$$\ln \hat{\mu}_i = -11{,}76 + 1{,}05 \,.\ln JGEI \; - 0{,}11 \,.\frac{JGEI}{1000} + \; Obst.0{,}41 + Bermb.-0{,}74 + SBocht.1{,}07 + MBocht.0{,}20$$

Waar:

μ_i = ongevallenfrequentie, in dit geval het aantal ongevallen op een wegvak *i* in een periode van 5 jaar;
JGEI = jaargemiddelde etmaalintensiteit;
Obst = modelvariabele voor de aanwezigheid van een obstakel langs één of beide wegzijden binnen een afstand van 2 meter;
Bermb = modelvariabele voor de aanwezigheid van bermbeveiling langs een van beide wegzijden;
Sbocht = modelvariabele voor een sterke bochtigheid (relatief veel bochten per km), afgezet tegen een rechte weg;
Mbocht = modelvariabele voor een matige bochtigheid (relatief weinig bochten per km), afgezet tegen een rechte weg.

De *p*-waarden van de parameterschatting en exponenten van de dummy-variabelen van dit model zijn weergegeven in *Tabel 3.13.*

	Exponent	Parameterschatting	*p*-waarde
Intercept	7.8 E-06	-11,76	0,001
Ln *JGEI*	-	1,05	0,019
JGEI/1000	-	-0,11	0,049
Obst	1,51	0,41	0,001
Bermb	0,48	-0,74	0,092
Sbocht	2,93	1,07	0,008
Mbocht	1,23	0,20	0,108

Tabel 3.13*. Parameterschattingen en statistische significantie van een CPM voor bermongevallen op enkelbaans provinciale GOW80-wegen (Van Petegem, 2012).*

De parameterschatting van bermbeveiliging en matige bochtigheid waren niet significant (wel indicatief) maar zijn toch opgenomen in het uiteindelijke model. De andere parameters waren statistisch significant op een zekerheid van 95%.

Het verband tussen de ongevallenfrequentie en wegkenmerken, gecorrigeerd voor de expositie op basis van de (jaargemiddelde) etmaalintensiteit is af te lezen aan de hand van de exponenten. Deze wijzen op het volgende:

- Wegvakken waar zich een obstakel bevindt binnen een afstand van 2 meter zijn 1,5 keer zo onveilig als andere wegvakken.

- Een bermbeveiliging vergroot de veiligheid aanzienlijk voor wegen met een krappe obstakelvrije zone. De parameterschatting geeft een indicatie van een half zo klein aantal enkelvoudige letselongevallen dan op andere wegen het geval is.[5]
- Op sterk bochtige wegen is de ongevallenfrequentie ongeveer drie keer zo hoog als op rechte wegen.
- Matig bochtige wegen zijn onveiliger dan rechte wegen. De parameterschatting geeft een indicatie van 20% meer ongevallen op matig bochtige wegen in vergelijking tot rechte wegen.

Deze resultaten geven ook de verschillen aan met de situatie in Australië. Zo geeft Van Petegem (2012) aan dat vergeleken met andere wegen de kans op een ongeval circa 1,5 keer zo hoog is op wegen met obstakels binnen 2 m. In Australië is dit een factor 2,2. Ook zijn er verschillen op te merken met betrekking tot het effect van bochtigheid op ongevallen en dit kan te maken hebben met verschillen in de gehanteerde definities van bochtigheid.

Hoewel het model van Van Petegem niet direct is te vergelijken met andere modellen (zeker niet in Nederland, waar CPM's een betrekkelijk nieuw fenomeen zijn), toont het model overeenkomsten met een CPM voor enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom, ontwikkeld in de regio Haaglanden (Reurings & Janssen, 2007). Dit model is gekalibreerd op alle letselongevallen (dus niet alleen enkelvoudige ongevallen), maar heeft dezelfde vormfunctie met de lengte van het wegvak als extra expositie-variabele. De parameter in de macht van de lengte L is echter bij benadering 1 en niet statistisch significant afwijkend van 1. Het model heeft de volgende functie:

$$\hat{\mu}_i = 7{,}52 \cdot 10^{-9} \cdot Int^{1{,}54} \times L_i^{0{,}96} \times e^{-0{,}09 \cdot \frac{Int}{1000}}$$

Waar

μ_i = ongevallenfrequentie, in dit geval het aantal letselongevallen op een wegvak *i* in een periode van 3 jaar;
Int = gemiddelde etmaalintensiteit;
L = lengte van het desbetreffende wegvak.

De parameterschattingen van de intensiteit en intensiteitscorrectiefactor van de twee modellen (Haaglanden en bermongevallen) zijn qua teken en ordegrootte vergelijkbaar. De parameterschattingen van Reurings & Janssen en van Van Petegem liggen tevens in elkaars betrouwbaarheidsinterval en zijn dus niet aanwijsbaar verschillend. Wel is er een duidelijk verschil in de interceptwaarde, wat logisch is gezien de verschillen in de afhankelijke variabele (ongevallenfrequenties) en de extra expositieparameter (wegvaklengte) van het Haaglanden-model.

3.3. Overige kenmerken van het dwarsprofiel en de relatie met verkeersongevallen

3.3.1. *Inhaalverboden en geslotenverklaring*

Gezien de stroomfunctie op wegvakken, de (hoge) snelheidslimiet en het ontwerp van GOW's buiten de bebouwde kom worden bepaalde functionele

[5] De modelvariabele corrigeert voor de aanwezigheid van een obstakel.

eisen gesteld aan het gebruik van dit type wegen (zie CROW, 2012a; 2012b).
Zo is het ongewenst om snel en langzaam verkeer te mengen op dit type wegen vanwege de grote snelheids- en massaverschillen. Daarnaast geldt dat erfaansluitingen op dit type wegen kunnen leiden tot verstoringen in het verkeer en een verhoogde kans op ongevallen. Vanwege deze operationele eisen dienen aparte voorzieningen te worden getroffen om verplaatsing van uitgesloten groepen verkeer te faciliteren.

De ideale inrichting, zoals beschreven in de BKWO (CROW, 2012a), heeft een volledige geslotenverklaring. Daarmee zijn fietsers, voetgangers, ruiters, bromfietsen, motorvoertuigen met beperkte snelheid (landbouwtrekkers) en zelfrijdende werktuigen en wagens op deze wegen dus niet toegestaan. Ook erfaansluitingen zijn in de ideale inrichting niet toegestaan. Bij een minimale inrichting geldt een gedeeltelijke geslotenverklaring waarbij geen fietsers, bromfietsers, ruiters en voetgangers worden toegestaan. Tevens heeft de minimale inrichting als uitgangspunt dat erfaansluitingen niet aanwezig zijn. Deze zijn bij uitzondering toegestaan mits deze voldoende zichtbaar zijn.

Wanneer er wel erfaansluitingen aanwezig zijn, dient er altijd een parallel-voorziening aanwezig te zijn voor (langzaam) bestemmingsverkeer. Dit is ten minste een fiets-/bromfietspad en bij voorkeur een parallelweg (erftoegangsweg ofwel ETW). Bij het ontbreken van zowel een volledige geslotenverklaring als een parallelweg dienen inhaalvoorzieningen te worden aangebracht voor het inhalen van landbouwvoertuigen (op de hoofdrijbaan of bij parkeerstroken).

Het HWO citeert onderzoek waarbij is aangetoond dat GOW's met een parallelvoorziening in de vorm van een ETW 50% minder ongevallen hebben dan GOW's met vrijliggende fietsvoorzieningen. Bovendien zijn parallel-wegen (ETW's) veiliger voor fietsers en bromfietsers dan fietspaden.

Op GOW80-wegen zou de gereden snelheid in situaties met een volledige geslotenverklaring vrij homogeen moeten zijn, waardoor de noodzaak om in te halen klein is. Daarom gaat de ideale inrichting uit van een 2x1-dwars-profiel waarbij inhalen niet mogelijk is. Bij de minimale inrichtingsvariant (1x2 met een dubbel doorgetrokken of onderbroken asstreep) wordt inhalen, met uitzondering van landbouwverkeer, niet toegestaan. Het effect van een inhaalverbod op het aantal ongevallen wordt niet in het HWO genoemd. Wel wordt aangegeven dat het aantal inhaalbewegingen met circa 50% daalt.

In een onderzoek in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (nu DVS; DHV, 2001) is geconstateerd dat een inhaalverbod niet leidt tot meer pelotonvorming op GOW80-wegen met een geslotenverklaring. Daarnaast blijkt een inhaalverbod vrijwel geen invloed te hebben op de traject-snelheden. Het verschil in trajectsnelheden tussen pelotons en vrije rijders blijft beperkt tot ongeveer 4 km/uur. Verschillen die in het onderzoek wel zijn geconstateerd, zijn het gevolg van lokale omstandigheden (zoals intensiteitsverschillen en verkeersregelinstallaties op trajecten). Negatieve aspecten van het inhaalverbod op de verkeersafwikkeling zijn hier dus niet gevonden.

3.3.2. *Verkanting*

De meeste Nederlandse enkelbaanswegen hebben een zogeheten dakprofiel met in de horizontale rechtstanden een standaardverkanting van 2,5% die zorgt voor de waterafvoer. In bochten wordt het wegdek omgezet van een dakprofiel naar één hellend vlak ('op-één-oor-profiel'). Deze verkanting zorgt voor verbeterde zichtbaarheid van de bocht en vangt ook een deel van de middelpuntvliedende krachten op (bij een positieve verkanting). Het HWO (CROW, 2012b) beveelt een maximale positieve verkanting van 5% (in uitzonderlijke gevallen 7%) aan. De negatieve verkanting mag niet meer dan -2,5% bedragen en dan slechts in combinatie met ruime horizontale boogstralen.

In het HWO zijn geen relaties tussen de verkanting en verkeersveiligheid gelegd, terwijl algemeen bekend is dat de kruin van een dakprofiel aandacht behoeft, om te voorkomen dat inhalende voertuigen grote verschillen ervaren. Daarnaast leidt onvoldoende verkanting tot onvoldoende afwatering en een te vlakke of te steile verkanting in bochten kan zorgen voor verkeersveiligheidsproblemen (foute inschatting van de bocht, kantelende vrachtauto's en dergelijke; Milliken & De Pont, 2005). Ten slotte suggereert het HWO (door het ontbreken van deze relatie met de verkeersveiligheid) dat krappe bogen voldoende veilig zouden zijn indien een voldoende positieve verkanting wordt gebruikt. Zweeds onderzoek (Brüde, Larsson & Thulin, 1980; Hedman, 1989) en Amerikaans onderzoek (vermeld in Dijkstra, 1998; Zegeer et al., 1990) wijzen echter op een forse toename van het ongevalsrisico bij bogen krapper dan 1.000 m.

3.3.3. *Effect van rijstrookbreedte en rijbaanindeling op snelheid*

In het HWO is geen duidelijk verband aangegeven tussen de rijstrook-breedte en de gereden snelheid.

De Amerikaanse *Highway Capacity Manual* (HCM) houdt rekening met een verlaging van de gereden (free-flow) snelheid wanneer een rijstrook smaller wordt dan 3,6 m (Stein & Neuman, 2007; TRB, 2010). Zo is volgens de HCM de free-flow-snelheid op een rijstrook van 3,0 m meer dan 10 km/uur lager dan op een 3,6 m rijstrook (referentierijstrook).
Hieruit valt af te leiden dat smallere rijstroken in Amerika leiden tot lagere snelheid maar meer ongevallen (als men het effect van rijstrookversmalling beschouwt - zie *Paragraaf 3.2*). Deze resultaten zijn gebaseerd op wegen met relatief hoge snelheden en ruime combinaties van rijstrook, verharde berm en redresseerstrook.

Onderzoeksresultaten op het gebied van de relaties tussen rijstrook-/rijbaanbreedte, snelheid en ongevallen zijn echter niet eenduidig. Daarnaast is onderzoek naar deze relaties vaak primair gericht op de relatie tussen één dwarsprofielkenmerk en ongevallen en niet het dwarsprofiel als geheel. Gedragsvariabelen als snelheid worden zelden in CPM's gebruikt terwijl dat zeker zinvol kan zijn (Cardoso, 2011; Dietze & Weller, 2011; Schermers et al., 2011).

3.4. Conclusies

In dit hoofdstuk is ingegaan op de relatie tussen de verkeersveiligheid en elementen van het dwarsprofiel. Deze relaties zijn toegelicht op basis van een (inter)nationale literatuurverkenning. Het doel van dit hoofdstuk was om aan te geven in welke mate de relatie tussen verkeersveiligheid en (elementen van) het dwarsprofiel te onderbouwen zijn (of nog onderbouwd moeten worden) met onderzoeksresultaten. Niet alleen is inzicht verkregen in het belang van deze relaties, maar ook van de relevantie voor een hoofdstuk over dwarsprofielen in ontwerprichtlijnen met kwantitatief onderbouwde effecten op verkeersveiligheid.

Duurzaam Veilig stelt eisen aan het ontwerp en de inrichting van GOW80-wegen. Dit betekent dat er op GOW80-wegen in principe altijd aparte voorzieningen dienen te zijn voor langzaam verkeer, dat de rijrichting fysiek is gescheiden, dat er geen erfaansluitingen zijn (geen kruisend verkeer op wegvakken), dat bermen draagkrachtig zijn en dat er geen obstakels dicht bij de weg staan of dat deze botsvriendelijk zijn uitgevoerd. Wat betreft het dwarsprofiel, zijn deze eisen terug te vinden in elementen van het dwarsprofiel zoals opgenomen in bijvoorbeeld het HWO en de BKWO.

Het dwarsprofiel stelt de volgende ruimtelijke eisen:

- *De verkeersruimte*
  Deze wordt bepaald door een combinatie van de afmetingen van het (ontwerp)voertuig en de ruimte die het voertuig en de bestuurder in beslag nemen om voort te bewegen. Een voertuig beweegt nooit in een perfecte rechte lijn en neemt zowel in de breedte als de hoogte meer ruimte in beslag dan wanneer het voertuig stilstaat. Dit komt door kleine stuurcorrecties die nodig zijn om het voertuig op de weg te houden (ook wel de vetergang genoemd) en ook door kleine verticale verplaatsingen als gevolg van het wegdek.
- *Het profiel van vrije ruimte*
  Dit bestaat uit een combinatie van de verkeersruimte en de objectafstand (de afstand die een bestuurder aanhoudt om te voorkomen dat een verticaal object wordt aangereden).
- *De veiligheidszone*
  Dit is de ruimte die wordt gereserveerd voor vlucht- en bergingszone en ook de ruimte waarbinnen geen onbeschermde objecten geplaatst mogen worden (de obstakelvrije zone).

Het ideale dwarsprofiel (Type I) van een GOW80-weg heeft 2 rijbanen met één of twee rijstroken (3,1 m breed) per rijrichting (2x1 of meer), redresseerstroken van 30 cm en een obstakelvrije zone van 6 m (CROW, 2012a). De rijbaanscheiding is een moeilijk overrijdbare rijrichtingscheiding vormgegeven als middenberm (dus zonder afschermingsconstructie) met een voorkeursbreedte van 6 meter. De ‘ideale inrichting’ volgens de BKWO (CROW, 2012a) heeft een volledige geslotenverklaring. Daarmee zijn fietsers, voetgangers, ruiters, bromfietsen, motorvoertuigen met beperkte snelheid (landbouwtrekkers) en zelfrijdende werktuigen en wagens op deze wegen dus niet toegestaan. Ook erfaansluitingen zijn in de ‘ideale inrichting’ volgens de BKWO niet toegestaan. Dit ideale profiel, ook het Type I-profiel genoemd, komt in Nederland beperkt voor, waarschijnlijk vanwege het grote ruimtebeslag van deze uitvoering.

Het standaarddwarsprofiel van een Type II-GOW (CROW, 2012b) is een enkele rijbaan met twee rijstroken met elk een breedte van 2,75 m, met een overrijdbare rijrichtingscheiding (een dubbel doorgetrokken streep) van 80 cm, redresseerstroken van 30 cm en een verhardingsbreedte van 7,5 m. De meeste gebiedsontsluitingswegen in Nederland horen tot deze categorie 1x2-GOW. In tegenstelling tot de eisen in het HWO, hebben veel 1x2-GOW80-wegen geen (of een gedeeltelijke) geslotenverklaring en komen erfaansluitingen vaak voor.
Bij een minimale inrichting geldt een gedeeltelijke geslotenverklaring waarbij geen fietsers, bromfietsers, ruiters en voetgangers worden toegestaan. Tevens heeft ook de minimale inrichting als uitgangspunt dat erf-aansluitingen niet aanwezig zijn. Ze zijn wel bij uitzondering toegestaan mits ze voldoende zichtbaar zijn.

Het HWO geeft geen inzicht in de verkeersveiligheidseffecten indien er wordt afgeweken van (onderdelen van) de (ideale) dwarsprofielen Type I of Type II.

In het HWO is geen duidelijk verband aangegeven tussen de rijstrook-breedte en de gereden snelheid.

In het HWO zijn geen relaties tussen de verkanting en verkeersveiligheid gelegd, terwijl algemeen bekend is dat de kruin van een dakprofiel aandacht behoeft om te voorkomen dat inhalende voertuigen grote verschillen ervaren.

Op basis van (inter)nationale ervaringen, kunnen de volgende conclusies over de relaties tussen elementen van het dwarsprofiel en verkeersveiligheid worden getrokken voor enkelbaans (80km/uur-)wegen buiten de bebouwde kom:

<u>De breedte van de verharding, rij- en redresseerstroken</u>
- De aanbevolen breedtes van zowel rij- als redresseerstroken zijn in Nederland smaller dan in de meeste andere landen terwijl de ontwerp-voertuigen nauwelijks verschillen.
- Een profiel van 7,0 m verhardingsbreedte met smalle rij- en redresseer-stroken heeft een 1,65 keer zo hoog ongevalsrisico als een 10m-profiel. Een 8,0m-profiel is 17% veiliger dan een 7,0m-profiel maar 37% minder veilig dan een 10m-profiel (VS).
- Een versmalling van de rijstrookbreedte van 3,5/3,6 m naar minder dan 3,0 m leidt tot een stijging van het aantal ongevallen/het ongevalsrisico van tussen de 50% (VS) en 60% (Australië).
- Smalle redresseerstroken zijn onveiliger dan brede stroken (>1 m is 33% veiliger dan <1 m).

<u>De middenberm</u>
- In Nederland wordt een middenberm van minimaal 3 m en maximaal 6 m aanbevolen voor 2x1 (of meer) GOW80-wegen (Type I). Daarbij dient deze te worden afgestemd op de benodigde ruimte voor eventuele bebakening, bebording en linksafvakken en dergelijke. Een maximale breedte wordt daarom aanbevolen bij korte opvolgafstanden van kruis-punten. Deze variant komt in het buitenland buiten de bebouwde kom nauwelijks voor.

- Een vaker voorkomende variant in het buitenland is de 2x2-GOW bubeko. Amerikaans onderzoek geeft aan dat op wegen met een geslotenverklaring en geen erfaansluitingen een middenbermverbreding van 3 naar 6 m leidt tot 4% minder ongevallen (14% minder doorsteek-ongevallen). Indien de breedte wordt vergroot van 3 naar 12 m kan het aantal ongevallen met 10% afnemen (het aantal doorsteekongevallen met 37%).

De rijrichtingscheiding

- Het HWO beveelt een zachte rijrichtingscheiding aan op enkelbaans GOW's bubeko; dit in de vorm van een dubbele asstreep met 18 tot 110 cm tussenruimte.
- Onderzoek in Nederland geeft aan dat een moeilijk overrijdbare scheiding leidt tot 17% minder snelheidsovertredingen en dat inhalen nauwelijks voorkomt.
- In Zweden heeft de grootschalige toepassing van 2+1-wegen met cable barriers geleid tot een afname van 80% van alle dodelijke ongevallen en 50% van alle ernstige letselongevallen.
- In Nieuw-Zeeland en de VS worden 'flush medians' (te vergelijken met een zachte rijrichtingscheiding) toegepast met een minimale breedte van 1 m. In Nieuw-Zeeland is het aantal ongevallen op wegen waar de maatregel is toegepast met 19 procent gedaald (kop-staartbotsingen zijn met 66% gedaald en ongevallen waarbij voetgangers betrokken zijn met 30% gedaald; NZ Transport Agency, 2006). Onzeker is of dit wegen binnen of buiten de kom zijn, of juist alle wegen. Onderzoek in Amerika naar het gebruik van 'flush medians' op tweestrooks enkelbaanswegen geeft een verkeersveiligheidseffecten van 44% minder ongevallen bij verkeersintensiteiten onder de 5.000/etmaal en 52% bij intensiteiten boven de 5.000/etmaal (Gan, Shen & Rodriguez, 2005).

De bermen

- Bermen zijn opgebouwd uit de vlucht-/bergingszone en de obstakelvrije zone. Volgens het HWO mogen geen objecten/obstakels in de vlucht-/bergingszone voorkomen. In Nederlands is de vlucht-/bergingszone deels verhard (redresseerstrook) en deels onverhard of semi-verhard. Het onverharde deel dient draagkrachtig te zijn.
- Uit internationaal onderzoek is af te leiden dat het onveiliger is voor weggebruikers naarmate de verharde redresseer- of vluchtruimte smaller is. Zo heeft een enkelbaans bubeko-weg met 60 cm redresseerruimte 7% meer ongevallen dan een weg met 1,8 m redresseerruimte.
- Het HWO beveelt een obstakelvrije zone van minimaal 4,5 en gewenst 6,0 m aan op GOW80-wegen. Onderzoek uit de VS geeft aan dat een obstakelvrije zone van 5 m tot 22% veiliger is dan een zone van 1 m en een zone van 9 m tot 44% veiliger is dan 5 m.
- Amerikaans onderzoek geeft aan dat steile taluds (1:3) 35% minder veilig zijn dan flauwe taluds (1:7) en dat enkelvoudige ongevallen met 26% afnemen bij flauwe taluds.
- In Nederland komen (niet-afgeschermde) obstakels nog vaak voor.
- Recent onderzoek naar bermongevallen (Van Petegem, 2012) toont het volgende:
  - Wegvakken waar zich een obstakel bevindt binnen een afstand van 2 meter zijn 1,5 keer zo onveilig als andere wegvakken.

- Een bermbeveiliging vergroot de veiligheid aanzienlijk voor wegen met een krappe obstakelvrije zone: schattingen duiden op de helft minder enkelvoudige letselongevallen bij aanwezigheid van bermbeveiliging.
- Op sterk bochtige wegen is de ongevallenfrequentie ongeveer drie keer zo hoog als op rechte wegen.
- Ook matig bochtige wegen zijn onveiliger dan min of meer rechte wegen. Schattingen duiden op 20% meer ongevallen bij matige bochtigheid (indicatief verband).

Dit hoofdstuk heeft laten zien dat de verkeersveiligheid niet afhankelijk is van één enkel dwarsprofielelement maar eerder van de manier waarop de elementen zijn samengesteld in één profiel.

4. Ontwikkelingen op 80km/uur-wegen

Reeds sinds de introductie van Duurzaam Veilig (DV) in 1992 zijn de 80km/uur-wegen als een relatief onveilig wegtype geïdentificeerd (Koornstra et al., 1992). Dit heeft geleid tot de introductie van een aantal functionele en operationele eisen voor, onder andere, gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom (CROW, 1997; tevens opgenomen in CROW, 2012a). Deze eisen zijn voor het grootste deel vertaald in vigerende richtlijnen (CROW, 2002; 2012b). Wegbeheerders zijn sinds de formele aftrap van het Startprogramma Duurzaam Veilig (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997) bezig met de herinrichting van het wegennetwerk.

De vertaling van de functionele en operationele eisen voor GOW80-wegen naar de praktijk is niet zonder problemen geweest. Hoewel de theorie zuiver is, is de praktijk weerbarstiger. DV vraagt om monofunctionaliteit van wegen en het zo veel mogelijk scheiden van verkeerssoorten en rijrichtingen. De praktijk leert dat dit niet overal en op korte termijn te realiseren is. Het gevolg hiervan is dat veel wegen niet conform deze eisen kunnen functioneren of worden ingericht: de zogeheten ‘grijze wegen’.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de ontwikkelingen op 80km/uur-wegen sinds 2003. Onder andere wordt ingegaan op veranderingen in de samenstelling van het wegennetwerk, de verkeersveiligheid en ontwikkelingen met betrekking tot de implementatie van de eerder genoemde eisen.

4.1. Areaal en inrichting van 80km/uur-wegen

Het totale areaal aan wegen is in de afgelopen tien jaar licht gestegen, vooral door een toename van weglengte in beheer bij gemeenten en waterschappen (*Tabel 4.1*). De lengte aan wegen in beheer bij het Rijk en bij de provincies is vrijwel gelijk gebleven.

Wegbeheerder	Weglengte naar jaar (km)									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rijk	5.104	5.136	5.178	5.204	5.012	5.050	5.076	5.109	5.121	5.120
Provincies	7.856	7.799	7.743	7.745	7.899	7.848	7.836	7.861	7.863	7.802
Gemeenten/ Waterschappen	119.437	120.447	121.297	121.999	122.559	123.237	123.914	124.377	124.707	126.373
Totaal	132.397	133.383	134.218	134.948	135.470	136.135	136.827	137.347	137.692	139.295

Tabel 4.1. *Weglengte naar wegbeheerder (CBS, 2012).*

Hoewel het areaal aan wegen stabiel is gebleven, heeft de introductie van DV ertoe geleid dat de verdeling van weglengte naar wegtype in de afgelopen vijftien jaar drastisch is veranderd. Het categoriseren van wegen op DV-basis heeft gezorgd voor een andere verdeling van wegen over de nieuwe DV-categorieën en snelheidsregimes. Zo was bijvoorbeeld een doelstelling van het Startprogramma om 50% van alle stedelijke (vooral 50km/uur-)wegen om te bouwen naar 30km/uur-(erftoegangs)wegen. Sinds het Startprogramma hebben wegbeheerders hun wegennetwerken opnieuw

gecategoriseerd en zijn ze bezig deze wegen om te bouwen om de voldoen aan de categoriseringseisen. Zo is bijvoorbeeld het aandeel 80km/uur-wegen in het areaal aan niet-rijkswegen buiten de bebouwde kom (zie *Tabel 4.2.*) gedaald van 97% in 1998 tot slechts 41% in 2008 (Weijermars & Van Schagen, 2009). Dit is het gevolg van de ombouw van 80km/uur-wegen naar erftoegangswegen met een limiet van 60 km/uur (ETW60).

Snelheidslimiet bibeko/bubeko	**Lengte weg naar jaar (aandeel %)**		
	1998	**2003**	**2008**
Bibeko			
30km/uur	8.900 (15%)	29.000 (45%)	50.300 (70%)
50km/uur	50.600 (85%)	36.500 (55%)	21.600 (30)
Totaal bibeko	59.600 (100%)	66.400 (100%)	71.900 (100)
Bubeko			
60km/uur	2.100 (3%)	±10.000 (±15%)	35.400 (57%)
80km/uur	63.300 (97%)	54.400 (80-85%	25.500 (41%)
Totaal bubeko (excl. rijkswegen)	65.400 (100)	64.000 (100)	62.100 (100)

Tabel 4.2*. Areaal weglengte naar snelheidslimiet (Weijermars & Van Schagen, 2009).*

Uit *Tabel 4.1* en *Tabel 4.2.* is af te leiden dat het grootste deel van de 60- en 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten (en waterschappen) valt. Past men de vuistregel toe dat 80% van de weglengte geschikt zou zijn om als erftoegangsweg te fungeren (Weijermars & Van Schagen, 2009), dan zou dat betekenen dat er maximaal nog 14.000 km aan 80km/uur-wegen omgebouwd kan worden naar ETW60.

De forse toename in de aandelen van 30- en 60km/uur-wegen binnen en buiten de kom heeft zoals gezegd te maken met de verdere implementatie van de DV-categoriseringsplannen. Een aanzienlijk deel van de 50- en 80km/uur-wegen is in de loop van de tijd omgebouwd tot ETW. Behalve de snelheidslimiet is daarbij ook vaak de weginfrastructuur aangepast. Het is echter niet altijd mogelijk gebleken om de inrichtingseisen die aan erf-toegangswegen worden gesteld, in één keer door te voeren. Hierdoor zijn er in praktijk drie uitvoeringsvarianten mogelijk:

- volledig duurzaam veilig ingericht;
- sober duurzaam veilig ingericht;
- niet duurzaam veilig ingericht, snelheidslimiet verlaagd.

De verdeling van het areaal aan 60km/uur-wegen over deze uitvoerings-varianten is niet bekend. Uit SWOV-onderzoek is gebleken dat op minder dan de helft van de 60km/uur-wegen snelheidsremmende maatregelen zijn toegepast (Weijermars & Van Schagen, 2009). In 2008 had meer dan 75% van alle ETW60-wegen de Essentiële Herkenbaarheidskenmerken (CROW, 2004). Dit suggereert dat er ook 60km/uur-wegen zijn waar niets is gedaan behalve het invoeren van een lagere snelheidslimiet.

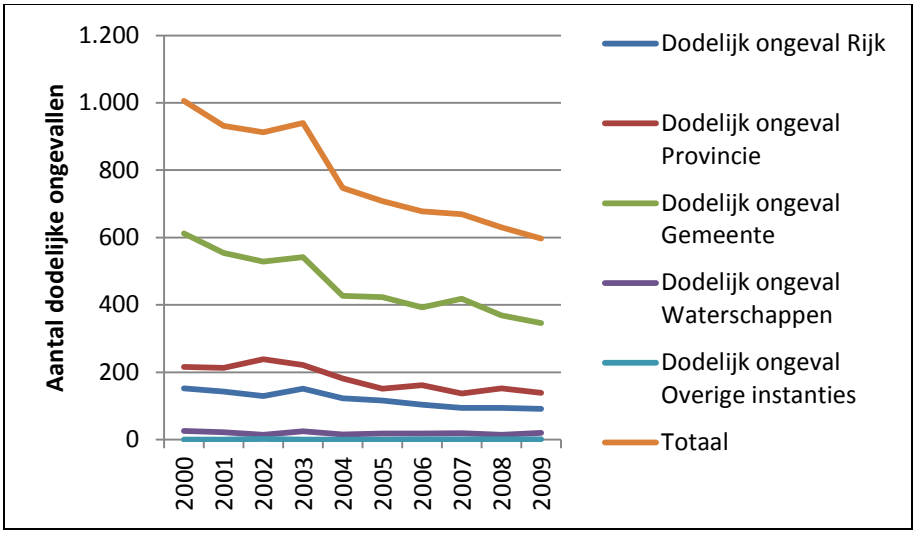
Ook op gebiedsontsluitingswegen gelden minimale functionele en operationele eisen. Ook hier is niet bekend in hoeverre de ruim 25.000 kilometer aan 80km/uur wegen aan deze eisen voldoen. Uit onderzoek van de SWOV (Weijermars & Van Schagen, 2009) blijkt dat 10% van deze wegen dubbelbaans zijn of fysiek gescheiden rijrichtingen hebben. Nog ruim 66% van de wegen heeft een onderbroken streep, een ongeveer even groot deel (2/3) als wegen die geen geslotenverklaring kennen. Weinig wegen hebben voldoende obstakelvrije zone of hebben verharde bermen.

4.2. Verkeersveiligheid op 80km/uur-wegen

Verkeersslachtoffers (en -ongevallen) worden voor het grootste deel geregistreerd in het Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland (BRON). Deze gegevens worden aangevuld met gegevens uit onder andere de Landelijke Medische Registratie (LMR) voor een betere classificatie van de letselernst. We onderscheiden in dit rapport ongevallen met dodelijke afloop en met ernstig verkeersgewonden (met een letselernst van MAIS 2 of hoger). Deze laatste groep ongevallen noemen we ernstige *letsel*ongevallen. Wanneer we ongevallen met doden en ernstig verkeersgewonden samen nemen, spreken we van ernstige (verkeers)ongevallen.

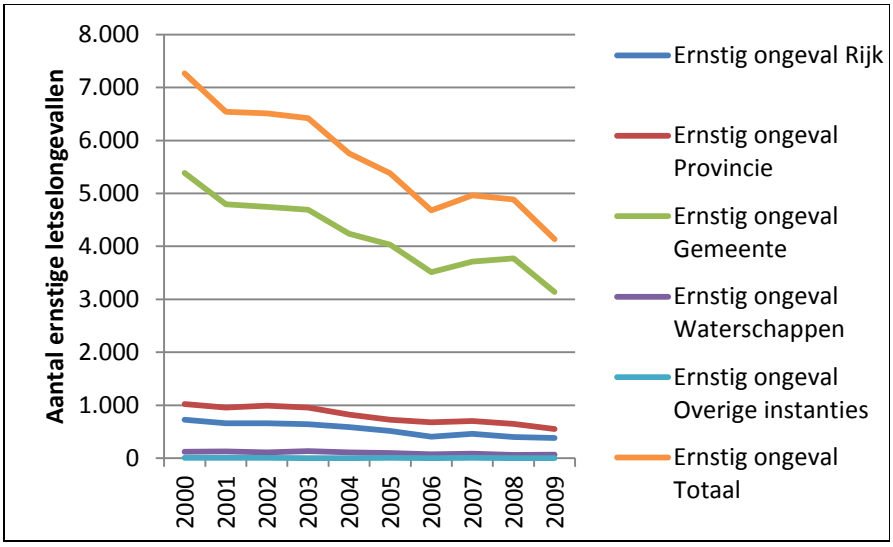
Door de dalende registratiegraad van verkeersongevallen en daardoor de betrouwbaarheid van de gegevens, in de meest recente jaren, is in deze paragraaf de onderzoeksperiode van de geregistreerde ongevallen beperkt tot de periode 2000-2009 met verkeersdoden of ernstig letsel als gevolg.

De registratiegraad van verkeersdoden is tot en met 2009 relatief constant gebleven (89-92%; SWOV, 2011). Daardoor geeft de trend in het aantal dodelijke ongevallen een redelijke weerspiegeling van de ontwikkeling over tijd. Over de periode 2000-2009 heeft deze ontwikkeling een algemeen dalende trend. Landelijk gezien is het aantal dodelijk ongevallen in de periode 2000-2009 met 41% gedaald (*Afbeelding 4.1*). Ten opzichte van andere wegbeheerders lijkt het aandeel dodelijke ingevallen op rijkswegen licht toe te nemen, dat wil zeggen de daling is minder sterk op rijkswegen. Ongeveer 60% van alle dodelijke ongevallen vindt plaats binnen gemeentegrenzen.



Afbeelding 4.1. *Geregistreerde dodelijke ongevallen naar wegbeheerder en jaar (Dutch Hospital Data – LMR; Ministerie van IenM – BRON).*

De registratiegraad van ernstige letselongevallen is minder gunstig. Hiervan wordt aangenomen dat deze ongeveer gelijk is aan de registratiegraat van ernstig verkeersgewonden, die afneemt van 69% in 2001 tot 46% in 2009, en zelfs niet bekend is in 2010 en 2011 (Reurings & Bos, 2011). Toch geeft de registratie van het aantal ongevallen met ernstig verkeersgewonden (ernstige letselongevallen) inzicht in de relatieve ontwikkeling onder de verschillende wegbeheerders (*Afbeelding 4.2*). Het aandeel per wegbeheerder is nauwelijks veranderd over de periode 2000-2009. Ook van deze groep ernstige letselongevallen valt het grootste aandeel op gemeentelijke wegen (74%).



Afbeelding 4.2. *Geregistreerde ernstige letselongevallen naar wegbeheerder en jaar (SWOV, op basis van Dutch Hospital Data – LMR; Ministerie van IenM – BRON).*

Uit *Tabel 4.3* blijkt dat het merendeel (40%) van de dodelijke ongevallen plaatsvindt op 80km/uur-wegen. Ruim 46% hiervan gebeurt op gemeentelijke 80km/uur-wegen en een verdere 43% op provinciale wegen. Wat betreft de ernstige letselongevallen worden de meeste geregistreerd op gemeentelijke 50km/uur-wegen, gevolgd door gemeentelijke en provinciale 80km/uur-wegen.

Het feit dat het areaal aan 80km/uur-wegen fors is afgenomen sinds 2003 (zie *Tabel 4.2.*) en het areaal aan 60km/uur-wegen fors is toegenomen, is niet terug te zien in het gemiddeld aantal ernstige verkeersongevallen (met doden of ernstig verkeersgewonden als gevolg). Het aandeel op 60km/uur-wegen is relatief klein, gegeven de lengte aan 60km/uur-weg, en dit suggereert dat de meest onveilige 80km/uur-wegen nog steeds als GOW80-weg functioneren.

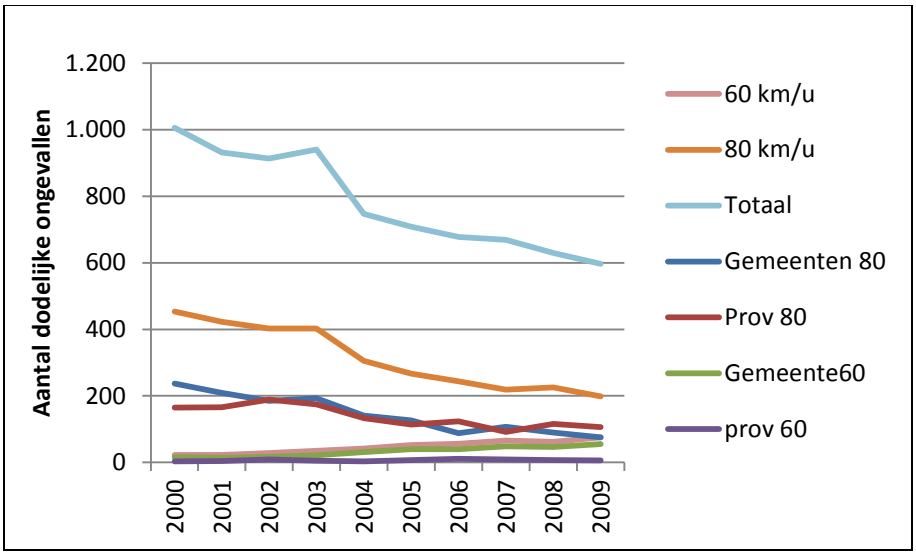
Ernst ongeval	Snelheids-limiet	Gemiddeld aantal ongevallen per jaar over 2000-2009 naar wegbeheerder			
		Rijk	Provincie	Gemeente	Alle weg-beheerders)
Dodelijk	15 km/uur	0	0	2	2
	30 km/uur	0	2	33	37
	50 km/uur	6	13	228	251
	60 km/uur	0	6	33	46
	80 km/uur	22	138	145	314
	100 km/uur	26	15	0	41
	120 km/uur	57	1	0	58
	Totaal	**120**	**181**	**461**	**782**
Ernstig	15 km/uur	0	1	17	18
	30 km/uur	5	30	489	532
	50 km/uur	44	136	2.704	2.904
	60 km/uur	4	36	160	231
	80 km/uur	102	528	678	1.347
	100 km/uur	107	35	3	145
	120 km/uur	231	4	2	236
	Totaal	**544**	**805**	**4.204**	**5.655**
Licht	15 km/uur	0	1	71	73
	30 km/uur	11	87	1.779	1.904
	50 km/uur	261	517	12.316	13.170
	60 km/uur	11	105	423	634
	80 km/uur	355	1.513	1.754	3.727
	100 km/uur	605	94	17	716
	120 km/uur	934	14	11	959
	Totaal	**2.457**	**2.483**	**16.968**	**22.226**

Tabel 4.3. *Gemiddeld aantal geregistreerde (letsel)ongevallen per jaar over 2000-2009 naar wegbeheerder en snelheidslimiet.*

Als we kijken naar de ontwikkeling van het aantal dodelijke ongevallen op 60- en 80km/uur-wegen over de periode 2000-2009, dan is te zien dat dit aantal in deze tien jaar licht is gestegen op 60km/uur-wegen, maar fors is afgenomen op de 80km/uur-wegen (*Afbeelding 4.3*). Afgezet tegen de ontwikkelingen in het areaal van deze twee wegtypen (*Tabel 4.2.*), duidt deze ontwikkeling erop dat de transformatie heeft bijgedragen aan de daling van zowel het aantal dodelijke ongevallen op 80km/uur-wegen als van het totaal aantal dodelijke ongevallen in Nederland.
Verder is te zien dat ondanks deze daling (die overigens wel beïnvloed wordt door een dalende registratie), de dodelijke ongevallen op 80km/uur-wegen een groot aandeel blijft uitmaken van het totaal.

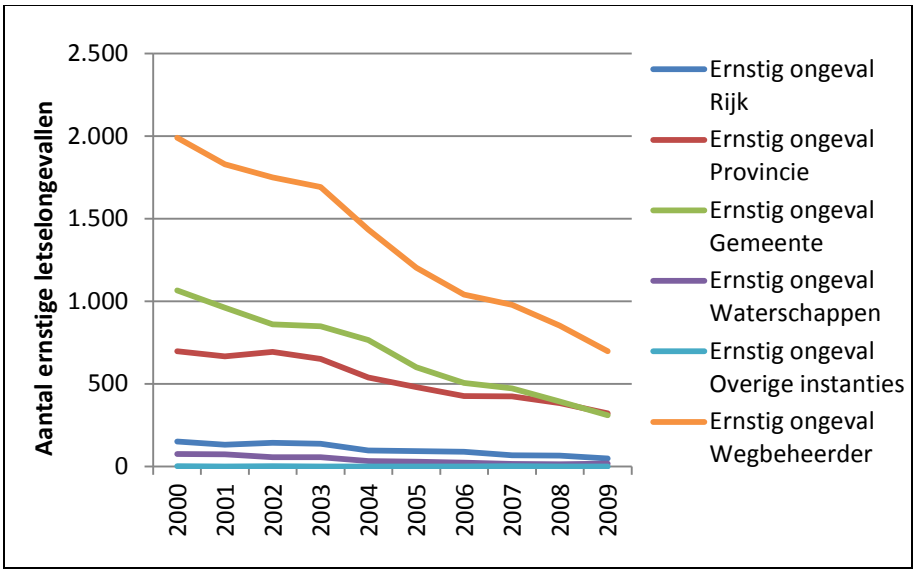
De ontwikkeling van dodelijke ongevallen op 80km/uur-wegen is vergelijkbaar voor provinciale en gemeentelijke wegen (*Afbeelding 4.3*).

Opvallend is wel dat het aandeel ongevallen op provinciale wegen lijkt toe te nemen. Dit is het gevolg van het 'ombouwen' van gemeentelijke 80km/uur-wegen naar ETW60-wegen, terwijl het areaal van provinciale 80km/uur-wegen min of meer gelijk blijft. Ook de ontwikkelingen op de gemeentelijke 60km/uur-wegen zijn hieraan toe te wijzen.



Afbeelding 4.3. *Aantal geregistreerde dodelijke ongevallen op wegen met een snelheidslimiet van 60 en 80 km/uur naar wegbeheerder en het totaal aantal dodelijke ongevallen in Nederland (Dutch Hospital Data – LMR; Ministerie van IenM – BRON).*

De ernstige letselongevallen op 80km/uur-wegen volgen, ongeacht de wegbeheerder, een vergelijkbare trend als de dodelijke ongevallen (*Afbeelding 4.4.*). Uit de afbeeldingen is dus af te lezen dat zowel het aantal dodelijke ongevallen als het aantal ernstige letselongevallen op provinciale 80km/uur-wegen het aantal op gemeentelijke 80km/uur-wegen overstijgt. Dit is grotendeels toe te wijzen aan de krimp van het areaal gemeentelijke 80 km/uur wegen.



Afbeelding 4.4. *Aantal geregistreerde ernstige letselongevallen op wegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur naar wegbeheerder (Dutch Hospital Data – LMR; Ministerie van IenM – BRON).*

Tabel 4.4 geeft informatie over de aard van het ongeval. De meeste ernstige ongevallen (dus met doden en/of ernstig verkeersgewonden) op 80km/uur-wegen vinden plaats op een rechte weg (circa 43%). Ongeveer 50% hiervan is een bermongeval (Van Petegem, 2012). Ruim 30% hiervan zijn ongevallen met een vast voorwerp (ongevallen waarbij voertuigen van de weg raken en botsen tegen bijvoorbeeld een boom of ander vast object). De meeste hiervan (60%) vallen op gemeentelijke 80km/uur-wegen.

Op rechte wegen komen ook relatief vaak (16-20%) flank- en frontale ongevallen voor. Dit zijn langsconflicten die vaak het resultaat zijn van onvoldoende (rijrichting)scheiding in het dwarsprofiel.

Ruim 21% van de ernstige ongevallen op 80km/uur wegen vindt plaats in bochten. De meeste ongevallen horen tot de categorie enkelvoudige ongevallen waarbij een voertuig van de weg raakt. Ongevallen met vast voorwerp (52%) komen het vaakst voor, met daarna eenzijdige (18%) en frontale (18%) ongevallen. De meeste hiervan gebeuren op gemeentelijke wegen.

Beheerder	Wegsituatie	Aard ongeval (gemiddeld aantal ernstige ongevallen per jaar over 2000-2009)										Totaal
		Voetganger	Geparkeerd	Dier	Vast voorwerp	Los voorwerp	Frontaal	Flank	Kop-staart	Eenzijdig	Onbekend	
Rijk	Rechte weg	0,9	0,8	0,2	10,0	0	8,0	5,5	7,6	3,7	0,1	36,8
	Bocht	0	0,1	0	4,6	0	2,2	0,6	0,2	1,9	0,1	9,7
	Totaal	1,5	1,2	0,2	19,4	0	24,9	48,0	17,6	9,7	1,4	124,0
Provincie	Rechte weg	15,7	6,5	3,0	77,2	1,5	60,4	57,8	36,7	21,2	1,7	281,8
	Bocht	1,0	0,1	0,3	47,7	0,6	22,6	10,1	1,8	16,9	0,2	101,3
	Totaal	21,2	7,4	3,4	140,9	2,4	134,0	236,6	64,5	50,3	5,3	666,0
Gemeente	Rechte weg	20,1	9,7	5,9	128,1	2,6	48,0	76,3	31,8	45,1	4,0	371,6
	Bocht	1,8	0,8	1,7	123,8	0,8	32,7	16,7	2,2	40,3	0,8	221,6
	Totaal	24,3	11,1	7,8	269,7	3,4	120,3	226,7	48,5	101,1	10,0	822,9
Overig	Rechte weg	1,2	0,3	0	5,8	0,1	3,0	3,9	1,8	5,3	0,3	21,7
	Bocht	0,1	0,1	0,2	5,3	0	2,5	0,3	0,3	5,5	0	14,3
	Totaal	1,4	0,4	0,2	12,2	0,1	8,9	10,4	2,3	11,5	0,5	47,9
Totaal	Rechte weg	37,9	17,3	9,1	221,1	4,2	119,4	143,6	77,9	75,3	6,1	711,9
	Bocht	2,9	1,1	2,2	181,4	1,4	60,0	27,7	4,5	64,6	1,1	346,9
	Totaal	48,4	20,1	11,6	442,2	6,0	288,1	521,7	132,9	172,6	17,2	1660,8

Tabel 4.4. *Geregistreerde ernstige ongevallen (met doden of ernstig verkeersgewonden) op 80km/uur-wegen naar wegbeheerder en aard van het ongeval, periode 2000-2009.*

In *Paragraaf 4.1* zagen we dat in de periode 2003-2008 het areaal aan 80km/uur-wegen gehalveerd is; dit betrof voornamelijk gemeentelijke en waterschapswegen die zijn getransformeerd naar 60km/uur-wegen. Het areaal van provinciale 80km/uur-wegen bleef nagenoeg onveranderd (Nationaal Wegenbestand). In deze periode is het aantal dodelijke ongevallen op provinciale 80km/uur-wegen met 33% gedaald. Op gemeentelijke en waterschapswegen met 60- en 80km/uur-limiet samen, is het aantal dodelijke ongevallen gedaald met 37%. Deze extra daling in dodelijke ongevallen (ten opzichte van die op provinciale wegen) wordt toegeschreven aan de transformatie van 80km/uur- naar 60km/uur-wegen.

Op alleen de 80km/uur-wegen in beheer van gemeenten en waterschappen bedroeg de daling in dodelijke ongevallen in deze periode 54% Dit is een verschil van 20% met de daling op provinciale 80km/uur-wegen (die was 33%, terwijl het areaal nagenoeg gelijk bleef). Afgezet tegen de halvering van het areaal aan gemeentelijke en waterschapswegen is de extra daling van 20% ten opzichte van de provinciale wegen echter beperkt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen die *niet* zijn omgebouwd relatief onveilig zijn in vergelijking met de omgebouwde wegen.

De ontwikkeling van het ongevalsrisico (ongevallen naar verkeersprestatie) kan inzicht geven in de werkelijke verkeersveiligheidsprestatie op onder andere 80km/uur-wegen. Het is aannemelijk dat de 80km/uur-wegen die tussen 2003 en 2008 zijn 'omgebouwd' als 60km/uur-weg de veiligere en minder drukke wegen waren. Dit betekent een dalende weglengte, maar een toenemende gemiddelde intensiteit op de overgebleven 80km/uur-wegen. Afgezet tegen het (dalende) aantal ernstige letselongevallen zou dit een gelijkblijvend risico kunnen betekenen. Omdat mobiliteitscijfers (voertuig-kilometers) gedisaggregeerd naar wegtype niet beschikbaar zijn (Weijermars & Van Schagen, 2009), kan het risico op de verschillende wegtypen niet worden bepaald. De ongevallendichtheid van ernstige ongevallen (ongevallen per km weglengte, op basis van *Tabel 4.2.* en gegevens van de *Afbeeldingen 4.3* en *4.4*) is echter licht toegenomen (ongeveer 10% in de periode 2003-2008).

Van Petegem (2012) heeft op basis van een indeling naar conflicttypen vastgesteld dat ongeveer 85% van alle ongevallen op wegvakken van GOW80 worden veroorzaakt door:

- bermconflicten - resp. 53% van de dodelijke, en 49% van de ernstige letselongevallen;
- frontale conflicten - resp. 17% en 12% dodelijke en ernstige letselongevallen;
- fietsersconflicten - resp. 10% en 14%;
- flankerende conflicten - resp. 8% en 10%.

Het aandeel bermongevallen springt er duidelijk uit, met een aandeel van ongeveer de helft, zowel van de dodelijke als van de ernstige letselongevallen. Daarmee vormen bermongevallen het meest urgente verkeersveiligheidsprobleem op GOW80-wegen.

Wat betreft de bermongevallen constateert Van Petegem:

- In 60% van de gevallen belandt de bestuurder rechtstreeks in de berm

- In 34% van de ongevallen vindt er een overcorrectie plaats, alvorens de bestuurder in de berm eindigt of met een medeweggebruiker in botsing komt.
- In 11% van de ongevallen vindt het ongeval plaats doordat de bestuurder rechtdoor schoot in een bocht. Deze manoeuvre vindt twee keer zo vaak plaats in de binnenbocht als in de buitenbocht.
- In 63% van de geanalyseerde bermongevallen kruist de bestuurder de baan van de tegengestelde rijrichting.

4.2.1. *Diepteonderzoek bermongevallen*

De SWOV heeft in afgelopen jaren diepteonderzoek uitgevoerd naar onder andere bermongevallen (Davidse, 2007; Davidse, 2011) op Nederlandse wegen. In een periode van ongeveer één jaar (2009-2010) zijn dieptestudies uitgevoerd bij 27 bermongevallen in Haaglanden en Hollands Midden en 60 bermongevallen in Zeeland (van de ruim 230 in Zeeland op jaarbasis). Ongeveer de helft van de onderzochte bermongevallen vond plaats op 80km/uur-wegen. Vanwege de kleine aantallen is geen onderscheid gemaakt naar alleen ongevallen op 80km/uur-wegen. In beide onderzoeken valt op te merken dat ongeveer de helft van alle bermongevallen die onderzocht zijn, ongevallen waren met obstakels binnen de obstakelvrije zone (let wel: niet alleen op 80km/uur-wegen, maar op alle wegen buiten de kom). Bijna de helft van de bermongevallen vond plaats in een bocht.

In de twee dieptestudies zijn onder de betrokkenen enquêtes afgenomen om te achterhalen welke achterliggende factoren aan het ontstaan van de bermongevallen of de ernst van het letsel hadden bijgedragen. Gerapporteerde ongevalsfactoren die met het wegontwerp en/of de weginrichting te maken hebben, waren:
- te smalle obstakelvrije zone (41-52% van de gevallen);
- te steile taluds (22-37% van de gevallen);
- te krappe bocht/bochtstraal en/of slechte vooraankondiging van de bocht (11-20% van de gevallen);
- ontbrekende semi-verharding (8-26% van de gevallen);
- te smalle redresseer- en/of rijstrook (10-26% van de gevallen).

4.3. **Duurzaam veilige GOW80-wegen en grijze wegen**

De eerste stap om te komen tot een duurzaam veilig wegennetwerk is het categoriseren van het wegennetwerk in de drie DV-wegcategorieën. Een dergelijk plan vormt dan ook het wensbeeld van de wegbeheerder, het wegennetwerk dat uiteindelijk ook *gerealiseerd* moet gaat worden. Tot en met 2008 had 91% van alle wegbeheerders een categoriseringsplan opgesteld (Weijermars & Van Schagen, 2009), 62% hiervan op basis van de CROW-publicatie 116 (CROW, 1997).

Bij het realiseren van een categoriseringsplan (dat wil zeggen, wegen in praktijk conform de eisen aanleggen en inrichten) gaat het om vaak grootschalige ingrepen. Het ligt dan ook voor de hand om dit gefaseerd aan te pakken en dat is precies wat de wegbeheerders de afgelopen vijftien jaar hebben gedaan. In hoeverre de uitvoering voldoet aan de gestelde eisen is niet bekend.

Zoals eerder aangegeven, zijn de eisen die vanuit de theorie en de richtlijnen worden gesteld aan GOW80-wegen niet altijd in praktijk realiseerbaar, zelfs niet op middellange tot lange termijn. Dit heeft te maken met een aantal beperkingen, onder andere de huidige categorisering (nog niet alle wegen zijn correct gecategoriseerd), ruimtegebrek, hoge (ombouw)kosten, gebruik en dergelijke. Het gevolg hiervan is dat er in praktijk een grote diversiteit is aan 80- (en 60)km/uur-wegen die volledig, deels of helemaal niet voldoen aan de DV-eisen. Het zijn juist die wegen die deels of niet voldoen, die voor de weggebruiker qua functie, vormgeving en gebruik onduidelijkheid scheppen. Dit worden ook wel de grijze wegen genoemd, de wegen die op middellange tot lange termijn de functie GOW (of ETW) moeten blijven houden, terwijl de vormgeving of zelfs het gebruik in de praktijk daarvoor niet geschikt is.

In een poging om de problematiek van de grijze wegen op te lossen heeft het CROW met de nieuwe Basiskenmerken Wegontwerp de grijze weg een plaats gegeven als faseringsvariant in het planproces van wegcategorisering. Het CROW definieert de grijze weg als:

> "Een grijze weg is een wegvak en/of kruispunt die niet in een van de drie Duurzaam Veilig categorieën kan worden geplaatst en/of die niet als zodanig kan worden ingericht. De functie van de weg is eenduidig zolang er sprake is van alleen stromen (stroomweg, SW) of alleen uitwisselen (erftoegangsweg, ETW). De belangrijkste knelpunten treden op wanneer zowel stromen als uitwisselen gelijktijdig optreden. Een grijze weg is een weg waar het voor de weggebruiker onduidelijk is welk gedrag van hem wordt verwacht en welk gedrag hij mag verwachten van andere weggebruikers" (CROW, 2012a)

Volgens deze definitie is de nog veel voorkomende GOW80-weg met een belangrijke verkeersfunctie, met erfaansluitingen, zonder geslotenverklaring, zonder inhaalverbod en zonder parallelwegen (of mogelijkheid deze aan te leggen) een grijze weg, net als een ETW60 -weg met de vormgeving en inrichting van een 80km/uur-weg.

Het is niet bekend hoeveel kilometer aan grijze wegen er in Nederland liggen of in hoeverre het bestaande 60- en 80km/uur-wegennetwerk juist is gecategoriseerd en voldoet aan de DV-eisen zoals die zijn vertaald in het HWO en Basiskenmerken Wegontwerp (CROW, 2012a; 2012b).
Volgens onderzoek van de SWOV waren er in 2008 maar weinig wegen die voldeden aan de DV-eisen (Weijermars & Van Schagen, 2009). Slechts een derde van het huidige areaal aan GOW80-weg had een geslotenverklaring en veel wegen hebben niets meer dan een onderbroken asstreep om de rijrichtingen te scheiden (*Tabel 4.5*).

(DV) Kenmerk GOW80-weg	Stand van zaken in 2008
Vorm van rijrichtingscheiding	10% dubbelbaans of fysiek gescheiden 22% doorgetrokken asstreep 66% onderbroken streep 2% anders
Geslotenverklaring	33% geslotenverklaring
EHK	40% met EHK
Erfaansluitingen	Ca. 75% met geen of beperkte aantal erfaansluitingen
(Semi)verharde berm	Weinig toegepast
Obstakelvrije zone	Weinig met voldoende breedte

Tabel 4.5. *Toepassing van DV kenmerken op GOW80-wegen: Stand van zaken in 2008 (Weijermars & Van Schagen, 2009).*

In het algemeen zijn er geen of zeer beperkte data beschikbaar op basis waarvan de verkeersveiligheidskwaliteit van weginfrastructuur beoordeeld kan worden. Hoewel er verschillende instrumenten (bijvoorbeeld DV-meter, EuroRAP Road Protection Score, Ranking the roads; Dijkstra, Louwerse & Aarts, 2010) beschikbaar zijn waarmee wegbeheerders de DV- of verkeers-veiligheidskwaliteit van het wegennetwerk zouden kunnen meten, worden deze door de beperkte data nauwelijks toegepast (Aarts, 2011).

De provincie Zuid-Holland heeft onderzoek laten uitvoeren naar de toepassing van EHK op haar wegennetwerk (DTV Consultants, 2011) en hieruit bleek dat circa 60% van de provinciale gebiedsontsluitingswegen (totaal 300 km in lengte) zijn uitgerust met EHK-markering (*Tabel 4.6*). Nagenoeg alle wegen waar de EHK zijn toegepast, zijn de wegen uitgevoerd met dubbele asmarkering en onderbroken kantmarkering.

Rijrichtingscheiding	Aantal hectometerpunten
Dubbel doorgetrokken	656
Dubbel onderbroken	498
Middenberm	480
Overig/niet bekend	90
Totaal	1.724

Tabel 4.6. *EHK-markering op GOW's van de provincie Zuid-Holland.*

Uit het onderzoek in Zuid-Holland komt verder naar voren dat er veel variatie in bijvoorbeeld rijstrook- en redresseerstrookbreedte voorkomt. Rijstrook-breedtes van 2,75 m, 2,90 m en 3,05 m komen voor, en redresseerbreedtes van 40, 50, 60 cm zijn gemeten (en zelfs 120 cm op dubbelbaans GOW's) waar 30 cm wordt aanbevolen.

De ANWB is in 2012 gestart met een uitgebreid programma om alle provinciale wegen in Nederland met behulp van de EuroRAP Road Protection Score (RPS) te beoordelen. Dit programma volgde op een eerdere praktijkproef met de RPS in Utrecht (Vlakveld & Louwerse, 2011), De RPS is een methode ontwikkeld door EuroRAP waarbij kenmerken van

de wegvakken, de bermen, de vorm van de rijrichtingscheiding en de kruispunten worden geïnventariseerd. Op basis van die inventarisatie wordt een indicator berekend die een indruk moet geven van de mate van bescherming die de wegvakken bieden aan inzittenden van auto's, motorijders, fietsers en voetgangers. De snelheidslimiet van de weg speelt bij de berekening een belangrijke rol. De berekening wordt uiteindelijk uitgedrukt in een aantal sterren, analoog aan de Euro NCAP bij auto's. Volgens de EuroRAP-methode geldt dat hoe meer sterren een weg heeft, des te vergevingsgezinder die weg is voor verkeersdeelnemers.

In juni 2012 heeft de ANWB de beoordelingen van de provincies Overijssel en Gelderland openbaar gemaakt (EuroRAP, 2012). Daarin scoren 61% van de provinciale wegen in Gelderland en 75% van die in Overijssel twee sterren (op een maximum van vijf sterren) voor auto-inzittenden. 4% van de provinciale wegen in Gelderland en 7% van de provinciale wegen en Overijssel scoren slechts één ster (*Tabel 4.7* en *Tabel 4.8.*) voor auto-inzittenden.

De scores voor overige weggebruikers zijn berekend op slechts die wegen waar voorzieningen zijn getroffen en/of bekend is dat de weg door een bepaalde groep weggebruikers wordt gebruikt. Voetgangerscores zijn allemaal gebaseerd op voorzieningen op wegen met een snelheidslimiet van 50 km/uur.

De analyses in Gelderland (*Tabel 4.7*) laten zien dat betrekkelijk weinig lengte aan provinciale weg erg slecht of erg goed scoren voor auto-inzittenden. De lage score is vooral het resultaat van ontbrekende rijrichting-scheiding (kans op frontale ongevallen), onvoldoende obstakelvrije zone (kans op enkelvoudige ongevallen), maximumsnelheid en de dichtheid van kruispunten.

In Overijssel zijn er geen wegen met een score van vijf sterren voor auto-inzittenden, en 7% scoort slechts één ster (*Tabel 4.8.*). De slecht scorende wegen in Overijssel betreffen vooral 100km/uur- wegen (regionale stroomwegen) zonder rijrichtingscheiding.

	Auto-inzittenden		Motorrijders		Fietsers		Voetgangers	
Score (sterren)	**Lengte (km)**	**%**	**Lengte (km)**	**%**	**Lengte (km)**	**%**	**Lengte (km)**	**%**
5 sterren	11	1	1	0	0	0	58	5
4 sterren	190	15	110	9	96	8	109	9
3 sterren	249	20	193	15	198	16	74	6
2 sterren	773	61	723	57	978	77	1	0
1 ster	52	4	249	20	3	0	0	0
n.v.t.	0	0	0	0	0	0	1.034	81

Tabel 4.7*. RPS-score van provinciale wegen in Gelderland (EuroRAP, 2012).*

Score (sterren)	Auto-inzittenden		Motorrijders		Fietsers		Voetgangers	
	Lengte (km)	%	Lengte (km)	%	Lengte (km)	%	Lengte (km)	%
5 sterren	0	0	0	0	0	0	12	2
4 sterren	44	6	30	4	44	6	51	7
3 sterren	81	12	46	7	41	6	40	6
2 sterren	523	75	438	63	604	87	0	0
1 ster	46	7	182	26	6	1	0	0
n.v.t.	0	0	0	0	0	0	592	85

Tabel 4.8. *RPS-scores van provinciale wegen in Overijssel (EuroRAP, 2012).*

4.4. Conclusies

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de ontwikkeling van het areaal aan 80km/uur-wegen en de ontwikkeling van de verkeersveiligheid op deze wegen. De belangrijkste conclusies zijn:

- Het aandeel 80km/uur-wegen is ten opzichte van het areaal aan niet-rijkswegen buiten de bebouwde kom gedaald van 97% in 1998 tot slechts 41% in 2008 (van 63.300km in 1998 naar 25.500km in 2008; Weijermars & Van Schagen, 2009). Dit betrof vooral (zowel in weglengte als in aandeel) gemeentelijke wegen en waterschapswegen die omgebouwd zijn van 80km/uur-weg naar erftoegangswegen met een limiet van 60 km/uur. Het grootste deel van de 60- en 80km/uur-wegen valt onder beheer van gemeenten en waterschappen. Past men de vuistregel toe dat 80% van de weglengte geschikt zou zijn om als erftoegangsweg te functioneren (Weijermars & Van Schagen, 2009), dan zou dat betekenen dat er maximaal nog 14.000 km aan 80km/uur-weg omgebouwd kan worden tot ETW.
- Op gebiedsontsluitingswegen gelden minimale functionele en operationele eisen. Het is niet bekend in hoeverre de ruim 25.000 kilometer aan 80km/uur-wegen voldoet aan deze eisen. Uit onderzoek van de SWOV (Weijermars & Van Schagen, 2009) blijkt dat 10% van deze wegen dubbelbaans is uitgevoerd of een fysieke rijrichtingscheiding bezit in de vorm van een geleiderail (op een enkele rijbaan). Ruim 66% van de wegen heeft nog een onderbroken asstreep, een ongeveer even groot deel (2/3) als wegen die geen geslotenverklaring kennen. Weinig wegen hebben voldoende obstakelvrije zone en/of hebben verharde bermen.
- Over de periode 2000-2009 is de ontwikkeling van het aantal dodelijke ongevallen naar wegbeheerder over het algemeen dalend. Landelijk gezien is het aantal dodelijk ongevallen in de periode 2000-2009 met 41% gedaald. Ten opzichte van andere wegbeheerders lijkt het aandeel dodelijke ongevallen op rijkswegen licht toe te nemen (dat wil zeggen, de daling in het aantal dodelijke ongevallen op rijkswegen is minder sterk). Ongeveer 60% van alle dodelijke ongevallen vindt plaats binnen gemeentelijke grenzen.
- De meeste (40%) van de dodelijke ongevallen in de periode 2000-2009 hebben plaatsgevonden op 80km/uur-wegen. Ruim 46% hiervan

gebeurde op gemeentelijk 80km/uur-wegen en 43% op provinciale wegen.

- Het areaal aan 80km/uur-wegen is in de periode 2003 tot 2008 gehalveerd terwijl het areaal aan 60km/uur-wegen is verdrievoudigd. Dit is niet eenduidig terug te zien in het gemiddeld aantal ernstige verkeersongevallen. Het overgrote deel van de getransformeerde wegen betrof wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen. Uit een vergelijk van provinciale wegen en wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen kunnen twee conclusies worden getrokken:
  - Het overgebleven areaal van 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen is relatief onveilig. In deze periode is het aantal dodelijke ongevallen op provinciale 80km/uur-wegen met 33% gedaald. Op de 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen was die daling in dezelfde periode 54%. Dit is een trendverschil van slechts 20%. Dit terwijl het areaal 80km/uur-wegen van gemeenten en waterschappen in die periode ongeveer is gehalveerd en het areaal van 80km/uur-wegen van de provincies ongeveer is gelijk gebleven
  - De transformatie van 80km/uur wegen naar 60km/uur-wegen heeft bijgedragen aan de daling van het aantal ongevallen op wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen. De daling van het aantal dodelijke ongevallen op provinciale 80km/uur-wegen bedroeg 33%. Op 80km/uur- en 60km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen bedroeg deze daling 37%. Dit trendverschil wordt toegeschreven aan de transformaties van 80km/uur wegen naar 60km/uur-wegen.
- Vanwege ontbrekende mobiliteitscijfers op 80km/uur-wegen kan niets worden gezegd over het ongevalsrisico. De ongevallendichtheden (ongevallen per km weglengte) van ernstige ongevallen op 80km/uur-wegen tonen echter een lichte stijging (ongeveer 10% over de periode 2003-2008).
- De meeste ernstige ongevallen op 80km/uur-wegen vinden plaats op een rechte weg (circa 43%). Ongeveer 50% hiervan is een bermongeval. Ruim 30% van deze bermongevallen zijn ongevallen met een vast voorwerp (ongevallen waarbij voertuigen van de weg raken en botsen tegen bijvoorbeeld een boom of ander vast object). Daarvan gebeuren de meeste (60%) op gemeentelijke 80km/uur-wegen.
- In twee dieptestudies van de SWOV naar bermongevallen zijn enquêtes afgenomen om te achterhalen welke ‘ongevalsfactoren’ bijdragen aan het ontstaan van het ongeval en de ernst van het letsel. Ongevalsfactoren die met het wegontwerp en/of de weginrichting samenhangen, zijn:
  - te smalle obstakelvrije zone (41-52% van de gevallen);
  - te steile taluds (22-37% van de gevallen);
  - te krappe bocht/bochtstraal en/of slechte vooraankondiging van de bocht;
  - ontbrekende semi-verharding (8-26% van de gevallen);
  - te smalle redresseer- en/of rijstrook (10-26% van de gevallen).
- Veel GOW80- en ETW60-wegen zijn als ‘grijze weg’ bestempeld, wat betekent dat ze niet eenduidig zijn ingericht volgens de Duurzaam Veilig-categorisering van wegen (stroomwegen – gebiedsontsluitingswegen – erftoegangswegen). Dit zijn bijvoorbeeld GOW80-wegen met een belangrijke verkeersfunctie, maar ook met erfaansluitingen, zonder een geslotenverklaring, zonder een inhaalverbod en zonder parallelwegen (of

mogelijkheid om deze aan te leggen). Ook zijn dit ETW60-wegen met de vormgeving en inrichting van een GOW80-weg.

- Het is niet bekend hoeveel lengte aan grijze wegen er in Nederland ligt of in hoeverre het bestaande 60- en 80km/uur-wegennetwerk voldoet aan de DV-eisen zoals die zijn vertaald in het HWO en de Basiskenmerken Wegontwerp (CROW, 2012a; 2012b). Volgens onderzoek van de SWOV waren er in 2008 maar weinig wegen die voldeden aan de DV-eisen (Weijermars & Van Schagen, 2009). Slechts een derde van het huidige areaal aan GOW80-wegen had een geslotenverklaring en veel wegen hebben niets meer dan een onderbroken asstreep om de rijrichtingen te scheiden.
- In juni 2012 heeft de ANWB de provinciale wegen van Overijssel en Gelderland beoordeeld volgens de Road Protection Score (EuroRAP, 2012). Deze beoordeling wordt uitgedrukt in een aantal sterren: hoe meer sterren een weg heeft, des te kleiner de kans op een ongeval met een negatieve afloop. Het blijkt dat 61% van de provinciale wegen in Gelderland en 75% van die wegen in Overijssel twee sterren scoren (op een maximum van vijf) voor auto-inzittenden. 4% van de provinciale wegen in Gelderland en 7% van die in Overijssel scoren slechts één ster voor auto-inzittenden.

5. Praktijkonderzoek naar relaties tussen dwarsprofiel-kenmerken, verkeersongevallen en gedrag op GOW80-wegen

Dit hoofdstuk richt zich op de resultaten van het praktijkonderzoek zoals eerder is beschreven in *Paragraaf 2.3*. Het bevat drie hoofdonderdelen: een praktijkonderzoek naar de verkeersveiligheid (ongevallen en rijgedrag) op provinciale GOW80-wegen met de meest voorkomende dwarsprofiel-kenmerken, het ontwikkelen van Crash Prediction Models (CPM's) voor typische GOW80-dwarsprofielen en als laatste een inschatting van de effecten op letselongevallen bij versobering van de verschillende dwarsprofielelementen.

5.1. Gedragsonderzoek

Het gedragsonderzoek had als hoofddoel inzichten te verkrijgen in het verkeersgedrag op wegen met de meest voorkomende combinaties van dwarsprofielelementen. De resultaten van het gedragsonderzoek worden gebruikt ter verdere onderbouwing van de relaties die worden gelegd tussen aantallen letselongevallen en (de samenstelling van) verschillende dwarsprofielen.[6]

5.1.1. *Selectie van meetlocaties*

De rijbaan en de indeling daarvan, de vlucht- en bergingszone en de obstakelvrije zone zijn kenmerkende elementen om een (hoofd)indeling van het dwarsprofiel te maken. Deze (hoofd)elementen, maar ook alle sub-elementen daarbinnen, zorgen voor variatie in het dwarsprofiel. Op termijn zou het voor verkeersveiligheid wenselijk zijn om inzicht te krijgen in de relatieve verschillen in ongevalsprestatie tussen al deze elementen, maar dit is op korte termijn noch uitvoerbaar noch financieel mogelijk, dus moeten pragmatische keuzes worden gemaakt. In overleg met de begeleidingsgroep van dit onderzoeksproject zijn de volgende elementen (dwarsfprofiel-kenmerken) als onderscheidend gekozen:

- vorm van de rijrichtingscheiding (drie varianten: fysiek gescheiden, dubbel doorgetrokken asstreep en onderbroken asstreep);
- breedte van de redresseerstrook (twee varianten, 0-30 cm en >30 cm);
- soort bermverharding (twee varianten: geen verharding en draagkrachtig);
- breedte van de obstakelvrije zone (drie varianten: <2 m; 2-6 m en >6 m).

Dit geeft 32 mogelijke combinaties (onderzoeksvarianten) die in de praktijk in meer of mindere mate voor zullen komen. Het is zinvoller om een variant als onderzoeksvariant te kiezen naarmate deze vaker in de praktijk voorkomt. Een eerste stap was dus om te bepalen in welke mate deze combinaties ook daadwerkelijk in de praktijk voorkomen. Hiervoor is inzicht

[6] Het ongevallengemiddelde op een willekeurig 100 meter-wegvak is zeer laag (0,1). Als gevolg daarvan is het niet mogelijk om het weggedrag op de onderzochte locaties direct te verbinden aan een ongevallenanalyse. Ongevallencijfers op de onderzochte locaties zijn geïllustreerd in *Bijlage 3.*

nodig in de lengteverdeling van 80km/uur-wegen naar de verschillende varianten (met andere woorden hoeveel weglengte ligt er van een bepaalde variant/combinatie).

De SODBW (SWOV-onderzoeksdatabase wegkenmerken) bevat wegkenmerkendata van provinciale GOW80-wegen (en een paar 100- en 60km/uur-wegen) in Drenthe en Gelderland (Schermers & Duivenvoorden, 2010). Ook beschikt de SWOV over een aantal aanvullende bestanden met wegkenmerken van GOW80-wegen, waarvan de kenmerken weliswaar niet precies dezelfde zijn (of mogelijk wel, maar dan anders gedefinieerd), maar die wel inzicht kunnen geven in de verdeling ervan. Een overzicht van de verschillende bestanden en hun hoofdkenmerken wordt gegeven in *Tabel 5.1*.

Kenmerk	Via Limburg	Via Utrecht	RPS (Overijssel en Gelderland)	SWOV-onderzoeksdatabase
Lengte wegen	2.380	410	1.935	945
Lengte 80km/uur-weg	845	340	1.430	815
Jaargemiddelde etmaalintensiteit	Gecategoriseerd	Nee	absoluut	absoluut
Periode	Onbekend	Onbekend	Onbekend	2007-2008
Type	Dynamische segmentatie	Dynamische segmentatie	100 meter	Hectometer
Wegcategorie	Ja	Nee	Nee	Vast
Komgrens	Ja	Nee	Nee	Vast
Snelheidslimiet	Ja	Ja	Ja	Vast met discontinuïteit
Rijbaanbreedte	Ja	Ja	Nee	Nee
Rijstrookbreedte	Nee	Ja	Ja	Nee
Redresseerstrookbreedte	Nee	Nee	Ja/Nee (paved shoulder incl. verharde berm)	Nee
Bermverharding	Type	Nee	Ja/Nee (unpaved en paved shoulder)	Nee
Rijbaanindeling	Ja	Ja	Nee	Vast met discontinuïteit
Aantal rijbanen	Ja	Ja	1 of meer	Vast met discontinuïteit
Aantal rijstroken	Ja	Ja	Ja	Vast met discontinuïteit
Rijrichtingsscheiding	Ja	Ja	Alleen fysiek	Vast met discontinuïteit
Wegmarkering	Ja	Ja	Nee	Ja
Geslotenverklaring	Ja	Ja	Nee	Ja
Parallelvoorziening-type	Ja	Ja	Nee (motorcyclepath)	Ja
Parallelvoorziening-zijde	Ja	Ja	Nee	Ja
Parallelvoorziening-afstand	Nee	Nee	Nee	Ja
Parallelvoorziening-intensiteit verkeer	Nee	Nee	Nee	Nee
Langzaam verkeer-(type)	Ja	Ja	Ja	Ja

Kenmerk	Via Limburg	Via Utrecht	RPS (Overijssel en Gelderland)	SWOV-onderzoeksdatabase
Langzaam verkeer-zijde	Ja	Ja	Alleen voetgangers	Ja
Langzaam verkeer- afstand	Nee	Nee	Alleen voetgangers	Ja
Langzaam verkeer -intensiteit	Nee	Nee	onduidelijk	Nee
Obstakel-type	Geaggregeerd, incl. lantaarnpaal exclusief talud	Nee	Gedeeltelijk geaggregeerd, incl. lantaarnpaal talud apart zonder afst. classificatie	Ja
Obstakel-afstand	Ja 0-2,5; 2,5-4,5; 4,5-6; 6-8;…	Nee	Deels 0-5; 5-10; >10	Ja 0-2; 2-5; 5-7,5
Object-type	Nee	Nee	Nee	Ja
Object-afstand	Nee	Nee	Nee	Ja 0-2;2-5;5-7,5
Bermbeveiliging	Ja	Ja	Ja	Ja
Bochtigheid	Nee	Nee	Ja	Ja
Bochtaanduiding hmp	Nee	Nee	Nee	Nee
Kruispunt	Ja	Ja	Ja	Ja
Zijweg	Nee	Nee	Nee	Ja
Erfaansluitingen	Ja	Ja	Nee	Ja
Aansluiting/zijweg	Nee	Nee	Ja	Ja

Waarschuwing bruikbaarheid - belangrijk kenmerk

Ontbrekend - belangrijk kenmerk

In orde - belangrijk kenmerk

Tabel 5.1. *Vergelijking van de verschillende databestanden met wegkenmerken waarover de SWOV beschikt.*

Uit *Tabel 5.1* valt op te merken dat de databases niet alle elementen bevatten die in overleg met de begeleidingsgroep zijn aangewezen. Daarom is besloten om de selectie van onderzoekslocaties te baseren op de verdeling van weglengte naar wegtype (als indicatie van de vorm van de rijrichtingscheiding) en naar obstakelafstand (als maat van de obstakelvrije zone) in Drenthe en Gelderland (Schermers & Duivenvoorden, 2010; *Tabel 5.2*) en deze waar mogelijk aan te vullen met locaties met het kenmerk redresseerstrook (RPS-bestand Overijssel; *Tabel 5.3.*).

Wegtype	Lengte weg naar obstakelafstand (km)				Totaal (km)	Aantal N-wegen
	Geen obstakel	<2 m	2 - 5 m	5 - 7,5 m		
Onbekend	5,7	10,3	1,9	0	17,9	16
A (100km/uur-EHK1)	0,3	0	4,4	0	4,7	1
C (80km/uur-GOW oud)	8,0	11,7	2,3	1,2	23,2	10
D (80km/uur-GOW oud met inhalen)	170,8	205,8	54,4	19,1	450,1	76
E (80km/uur-EHK1)	33,1	22,4	12,5	3,3	71,3	26
F (80km/uur-EHK2)	108,3	59,0	31,9	15,8	215,0	37
G (60km/uur-EHK)	74,2	69,9	8,3	0,2	152,6	27
H (60km/uur oud)	0,8	7,9	0	0	8,7	3
Totaal 80km/uur	320,2	298,9	101,1	39,4	759,6	/
Totaal	**401,2**	**387,0**	**115,7**	**39,6**	**943,5**	**98**
Noot: EHK1 = doorgetrokken asmarkering; EHK2 onderbroken asmarkering						

Tabel 5.2*. Weglengte naar obstakelafstand en wegtype op geselecteerde provinciale wegen in Drenthe en Gelderland.*

Bijna 60% (450,1/759,6) van de provinciale 80km/uur-wegvakken (verdeeld over 76 verschillende N-wegen) in Drenthe en Gelderland zijn uitgevoerd met markering 'oude stijl', met onderbroken as- en kantmarkering. Er zijn ook N-wegen met een mix van oude- en nieuwe-stijlmarkering (enkel de as- of kantmarkering heeft een markering nieuwe stijl). Op wegen met de oude-stijlmarkering met onderbroken asmarkering, heeft ongeveer de helft van de wegvakken obstakelafstanden van minder dan 2 m, hoewel bijna 40% van de wegvakken geen obstakels binnen 7,5 m heeft.

Ongeveer 38% van de 80km/uur-wegvakken heeft EHK-markering, met doorgetrokken of onderbroken dubbele asmarkering en gebroken kant-markering. (Let wel, de inventarisatie dateert uit 2008 en inmiddels is een onbekend aandeel van deze wegen reeds voorzien van nieuwe EHK-markering.) Bijna de helft van de wegvakken van deze nieuwe stijl GOW's heeft ruim voldoende obstakelvrije zone (>7,5 m), maar veel andere hebben te kleine obstakelafstanden (44% kleiner dan 5 m).

Het RPS-wegkenmerkenbestand is het enige bestand waarover de SWOV beschikt met informatie over de redresseerruimte op provinciale 80km/uur-wegen. Helaas hebben de ANWB en EuroRAP gekozen voor een grove schaalindeling (<1 m en 1 tot 2,4 m). Deze categorieën worden standaard gehanteerd door het RPS-instrument, maar zijn niet ideaal in de Nederlandse situatie. Het HWO beveelt een redresseerstrook van 15-30 cm aan voor GOW80-wegen en bovendien komen smalle redresseerstroken ook vaak in de praktijk voor. Daarom zou een schaalindeling van bijvoorbeeld 0-30; 30-60; 60-90 cm en groter dan 90 cm beter zijn geweest. Een ander nadeel van dit bestand is dat het wegtype niet is af te leiden, of het type markering dat is toegepast (conform de EHK of anders). Omdat dit de enige beschikbare gegevens zijn over redresseerruimte, is ondanks de tekortkoming een verdeling gemaakt naar obstakelafstand en breedte van de redresseerstrook op provinciale 80km/uur-wegen in Overijssel (*Tabel 5.3.*). Zoals verwacht laat

deze verdeling zien dat bijna alle provinciale 80km/uur-wegen in Overijssel een ‘smalle’ redresseerstrook hebben.

Breedte redresseerstrook	Weglengte naar obstakelafstand (km)				Totaal (km)	Aantal N-wegen
	Niet bekend	<5 m	5-10 m	>10 m		
Geen redresseerstrook	2,8	14,4	6,1	0,5	23,8	25
0–1 m	99,8	257,6	188,2	79,6	625,2	56
1–2,4 m	1,9	4,2	3,9	1,0	11,0	17
Totaal	**104,5**	**276,2**	**198,2**	**81,1**	**660**	**58**

Tabel 5.3. *Weglengte naar obstakelafstand en breedte redresseerstrook op geselecteerde provinciale wegen in Overijssel (EuroRAP, 2012).*

De locaties voor het praktijkonderzoek zijn geselecteerd op basis van de meest voorkomende dwarsprofielindelingen en de lengte (en aantal wegen) waarop deze voorkomen (*Tabel 5.2* en *Tabel 5.3.*). Gegeven deze verdelingen en het beschikbare onderzoeksbudget (uiteindelijk bepalend voor het aantal te selecteren locaties) is een onderzoeksdesign gekozen waarbij:

- de oude situatie kon worden vergeleken met de nieuwe (EHK), wat betreft verschillen in gedrag door bijvoorbeeld smallere rijstroken (EHK), grotere scheiding tussen rijrichtingen en dergelijke;
- het effect op het gedrag van verschillende obstakelvrije afstanden binnen de oude en nieuwe categorieën, maar ook tussen categorieën kan worden vergeleken.

Het effect van de EHK met of zonder inhaalverbod is niet onderzocht, omdat de invloed van enkel een inhaalverbod zonder fysieke maatregelen eerder niet kon worden aangetoond. Verschillen in inhaalgedrag werden vooral toegeschreven aan verschillen in horizontaal en verticaal alignement (DHV, 2001). Omdat dit onderzoek primair is gericht op het onderbouwen van de relaties tussen (de indeling van) het dwarsprofiel en verkeersveiligheid, is variantie in breedte (rij- en redresseerstrook; rijrichtingscheiding, berm en dergelijke) belangrijker dan de vorm van een inhaalverbod. Wel moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat men op een weg waar inhalen is toegestaan meer naar links (dichter aan de asmarkering) rijdt. Wanneer men gaat inhalen neigt men ertoe dichter aan de as te rijden om zicht voorbij de voorganger te krijgen.[7]

Er is gezocht naar locaties waar deze oude- en nieuwe-stijlmarkeringen aanwezig waren. Dat wil zeggen dat er vier hoofdgroepen zijn te onderscheiden (zie ook *Bijlage 1*), namelijk:

- de oude stijl GOW (enkele asmarkering) met en zonder inhaalverbod, en
- de nieuwe stijl GOW (met EHK) met en zonder inhaalverbod (volledige of gedeeltelijke geslotenverklaring)

[7] Op basis van het verzamelde materiaal is het inhaalgedrag wel vastgelegd, voor mogelijke latere analyses.

Daarnaast moesten de locaties voldoen aan de volgende eisen:
- het meetpunt ligt in een rechtstand met onbelemmerd zicht in beide richtingen;
- er liggen geen kruispunten of scherpe bochten binnen 500 m van het meetpunt;
- er ligt een provinciaal verkeerstelpunt op of dichtbij het desbetreffende wegvak.

Rekening houdend met het voorgaande zijn uiteindelijk achttien locaties gekozen, zie *Bijlagen 1 t/m 4*.

De onderzoekslocaties zijn geselecteerd met behulp van de SWOV-onderzoeksdatabase en het RPS bestand van Overijssel. Hierbij is geprobeerd om een min of meer gelijke verdeling te krijgen van het aantal onderzoekslocaties over de vier hoofdgroepen. Het bleek echter dat sinds de inventarisatie in 2008 bij een aantal locaties de nieuwe EHK-markeringen zijn aangebracht, waar de oude markering werd verwacht. Hierdoor is het aantal locaties helaas ongelijk over de groepen verdeeld (*Tabel 5.4*). Bijvoorbeeld bestaat groep 2, met dwarsprofielinrichting oude stijl, uit slechts één onderzoekslocatie, hoewel aanvankelijk vijf locaties zijn gekozen, en vallen de meeste onderzoekslocaties uiteindelijk in groep 4. Niettemin is de verdeling over de groepen voldoende om verschillen in gedragseffecten tussen de profielen duidelijk te maken.

Met uitzondering van de groep 2 die uit slechts één locatie bestaat, zijn de geselecteerde wegvakken binnen elk groep vrij homogeen zonder grote afwijkingen in verhardings-, rijbaan- en rijstrookbreedte. Wel zijn er verschillen tussen de groepen ten aanzien van de obstakelvrije afstanden en redresseerstrookbreedte.

Groep 1 Oude stijl GOW											
Enkele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering											
Locatie			Breedte verharding/rijbaan			Breedte rijstrook		Breedte redresseerstrook (excl. markering)		Obstakelafstand	
Nr	Weg	Hm	Verh.	Rijb.	Asmark.	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
5	N347	24,9	6,3	5,6	0,1	2,75	2,75	0,25	0,25	1,7	1,5
7	N347	25,6	6,35	5,55	0,1	2,75	2,7	0,3	0,3	1,8	1,6
10	N310	79,9	6	5,65	0,1	2,8	2,75	0,08	0,07	2,1	2,8
18	N797	4,6	6	5,3	0,1	2,6	2,6	0,35	0,15	1	0,6
Gemiddeld			6,16	5,53	0,1	2,73	2,7	0,25	0,19	1,65	1,63
Groep 2 Oude stijl GOW											
Enkele onderbroken asstreep en doorgetrokken kantmarkering											
Nr	Weg	Hm	Verh.	Rijb.	Asmark.	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
14	N314	20	7,8	6,8	0,1	3,3	3,4	0,35	0,45	3	0,9
Groep 3 Nieuwe stijl GOW											
Dubbele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering											
Nr	Weg	Hm	Verh.	Rijb.	Asmark.	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
8	N348	64,3	7,3	6,1	0,65	2,7	2,75	0,4	0,5	3,4	3,6
11	N310	58,5	6,8	5,9	0,4	2,75	2,75	0,3	0,3	1,5	1
13	N315	14,8	6,6	5,85	0,45	2,7	2,7	0,4	0,05	2,05	1
17	N375	2,4	7,2	6,05	0,45	2,8	2,8	0,45	0,4	5	5,3
Gemiddeld			6,98	5,985	0,495	2,74	2,75	0,39	0,31	2,99	2,73
Groep 4 Nieuwe stijl GOW											
Dubbele doorgetrokken asstreep en onderbroken kantmarkering											
Nr	Weg	Hm	Verh.	Rijb.	Asmark.	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
1	N331	23	6,95	6,25	0,7	2,8	2,75	0,35	0,2	4,9	4
2	N331	16,5	6,85	6,1	0,5	2,8	2,8	0,3	0,15	2,2	1,5
3	N343	23,1	7,2	5,8	0,4	2,7	2,7	0,1	0,2	4,1	4
4	N343	4,3	6,9	6,4	0,9	2,75	2,75	0,1	0,1	2,8	2,7
6	N347	7,8	7	6,1	0,6	2,75	2,75	0,3	0,3	3,5	3,7
9	N340	63	7,15	6,25	0,8	2,7	2,75	0,3	0,3	3,6	3,6
12	N315	36,3	7,5	6,6	1,1	2,75	2,75	0,3	0,3	1	1,6
15	N322	17,7	7,45	6,5	0,6	2,9	3	0,3	0,35	6	1,5
16	N346	14,3	7,2	6,3	0,8	2,75	2,75	0,3	0,3	4,2	4,5
Gemiddeld			7,13	6,26	0,71	2,77	2,78	0,24	0,26	3,59	3,01

Tabel 5.4. *Dwarsprofielkenmerken onderzoekslocaties van GOW80-wegen.*

5.1.2. *Verkeerstellingen en snelheidsmetingen*

Verkeerstellingen zijn met behulp van provinciale (permanente) telapparatuur uitgevoerd Met uitzondering van de tijdelijke telpunten op de N343 (hm 3,1) en de N347 (hm 8,1) in Overijssel, die in september en oktober 2012 zijn gemeten, zijn alle overige verkeersdata gemeten over de maand november 2012, tevens ook de maand waarin de verkeers-observaties zijn uitgevoerd. Voor elke locatie zijn tellingen per uur gerapporteerd en met deze gegevens zijn de gemiddelde etmaalintensiteiten bepaald, uitgesplist naar week- en werkdag (*Tabel 5.5*).

Hoewel alle locaties zich bevinden op provinciale gebiedsontsluitingswegen, zijn er grote verschillen in de gemiddelde (etmaal)intensiteiten aan verkeer op de verschillende wegen. In de groepen wegen met de oude-stijlmarkering (groepen 1 en 2) liggen de intensiteiten gemiddeld lager dan in de groepen met EHK-markering (groepen 3 en 4). Voor een deel is dit te verwachten, omdat de provinciale wegbeheerders genegen zouden zijn eerst de drukkere wegen conform de EHK in te richten. Op alle locaties is de spreiding van de verkeersintensiteiten op de gemiddelde werkdag tijdens de ochtendspits (06:00-09:00) en avondspits (15:00-18:00) zoals verwacht groter dan tijdens de middag (12:00-14:00).

Helaas worden niet bij alle provinciale verkeerstelpunten ook standaard de snelheden gemeten. Daar waar ze wel worden gemeten is dit bovendien op basis van snelheidsklassen (voertuigen worden op basis van hun snelheid gelogd in één van de snelheidsklassen) en niet op basis van de snelheid van individuele voertuigen. Snelheidsgegevens gemeten in dit soort van intervallen, laten de spreiding binnen een klasse niet zien en ook is de (exacte) gemiddelde waarde van die klasse niet bekend. Bovendien is het aantal locaties met snelheidsgegevens beperkt, waardoor een statistische analyse niet zinvol wordt geacht.

Voor dit onderzoek waren snelheidsmetingen alleen beschikbaar voor locaties in de provincie Overijssel.[8] Bij alle vijf locaties waarvan snelheden beschikbaar waren is op te merken dat de gemiddelde snelheid (op basis van de mediaan) nagenoeg gelijk is aan de limiet, maar dat de V_{85} merkbaar hoger ligt dan de limiet (*Tabel 5.6*).

Beschouwt men het gemiddelde snelheidsgedrag over de hele maand, uitgesplitst naar werk-, week- en weekenddagen, zijn de verschillen wat betreft de V_{85} tussen locaties en de groepen gering (*Tabel 5.6*). Het aandeel bestuurders dat de snelheidslimiet overschrijdt ligt in de meeste gevallen boven de 40%. Dit is vergelijkbaar met dit type wegen elders in Nederland.

[8] De snelheidsverdelingen voor de vijf locaties staan weergeven in *Bijlage 2*.

Locatie- en wegnummer	Spits en dal op werkdagen (gem/uur)						Etmaal	
	Ochtendspits		Middag		Avondspits		Weekdag	Werkdag
	Gem.	Stdafw.	Gem.	Stdafw.	Gem.	Stdafw.		
Groep 1: Enkele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering met kleine (<2 m) tot grote obstakelvrije (>7,5 m) afstanden en smalle tot grote redresseerstroken								
5 N347 (Ov)	Verkeersdata gelijk aan locatie 7							
7 N347 (Ov)	277,0	74,6	229,8	27,4	366,2	49,4	3.923	4.188
10 N310(Gl)	385,4	108,2	325,5	59,5	553,8	111,6	5.690	6.204
18 N797 (Gl)	342,8	142,6	332,4	73,5	460,2	74,7	5.018	5.426
Groep 2: Enkele onderbroken asstreep en doorgetrokken kantmarkering met kleine en grote obstakelvrije afstanden en smalle redresseerstroken								
(14) N314 (Gl)	502,0	190,5	399,3	68,8	595,0	117,9	6.280	6.969
Groep 3: Dubbele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering met middelgrote obstakelvrije zone en smalle redresseerstroken								
8 N348 (Ov)	996,8	235,8	708,0	53,0	1.148,2	195,2	12.416	13.586
11 N310 (Gl)	300,7	74,6	184,0	34,9	343,7	78,4	3.179	3.596
13 N315 (Gl)	482,4	177,1	372,0	67,4	582,7	121,3	5.908	6.542
17 N375 (Ov)	Geen verkeersdata beschikbaar							
Groep 4: Dubbele doorgetrokken asstreep en onderbroken kantmarkering met kleine en middelgrote obstakelvrije afstanden en smalle redresseerstroken								
1 N331 (Ov)	243,3	62,1	222,0	38,6	329,3	79,7	3.683	4.045
2 N331(Ov)	Gebruik telling van locatie 1							
3 N343 (Ov)	375,4	74,2	296,6	36,6	455,8	83,1	4.783	5.163
4 N347 (Ov)	459,8	128,7	380,9	42,4	556,6	101,9	5.899	6.585
6 N340 (Ov)	1.174,0	262,9	845,4	73,8	1.317,0	214,3	13.884	15.503
9 N322 (Gl)	427,7	88,5	338,2	64,9	549,1	108,7	5.838	6.406
12 N346 (Gl)	748,7	252,2	595,5	110,2	900,4	178,7	9.361	10.367
15 N315 (Gl)	654,9	245,7	491,1	93,1	758,2	166,2	7.916	8.783
16 N343 (Ov)	Geen verkeerdata beschikbaar							

Tabel 5.5. *Verkeersintensiteiten op de meetlocaties van GOW80-wegen.*

Locatie	Omschrijving	Intensiteit (gem/etmaal)	Snelheidsindicator		
			V_{gem} (km/uur)	V_{85} (km/uur)	% Over-treders
Groep 1: Enkele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering					
N347 hm 25.5	Gemiddeld (weekdag)	3.922	79	88	40,2
	Werkdag	4.189	79	88	40,0
	Weekend	3.195	79	89	41,1
Groep 3: Dubbele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering					
N348 hm 64,9	Gemiddeld (weekdag)	12.416	77	85	31,1
	Werkdag	13.588	76	84	29,4
	Weekend	9.199	79	85	38,3
Groep 4: Dubbele doorgetrokken as- en onderbroken kantmarkering					
N331	Gemiddeld (weekdag)	3.683	83	89	54,2
	Werkdag	4.945	83	88	53,9
	Weekend	2.779	83	92	54,8
N340 hm 63	Gemiddeld (weekdag)	13.886	81	86	50,1
	Werkdag	15.504	80	86	48,9
	Weekend	9.430	82	88	55,0
N343 hm 22,9	Gemiddeld (weekdag)	4.784	80	89	51,3
	Werkdag	5.165	80	89	50,6
	Weekend	3.743	82	91	54,1
N347 hm 8,0	Gemiddeld (weekdag)	5.898	79	86	39,4
	Werkdag	6.585	79	86	38,7
	Weekend	4.101	80	88	42,2

Tabel 5.6*. Gemiddelde snelheden en V_{85} op een aantal GOW80-wegen in Overijssel.*

5.1.3. *Gedragswaarnemingen*

Om meer inzicht te krijgen in het verkeersgedrag op de verschillende dwarsprofielvarianten zijn videobeelden vastgelegd en geanalyseerd op alle locaties (*Tabel 5.4*). Bij de analyse van de videobeelden zijn de volgende gedragingen genoteerd:

- laterale positie op de weg (kantlijnoverschrijding, rechts van rijstrook, midden rijstrook, links rijstrook en asstreepoverschrijding) met en zonder tegenliggers en met onderscheid naar type tegenligger;
- korte volgafstanden;
- (il)legale inhaalbewegingen;
- mogelijke conflicten (uitwijkmanoeuvres, remlicht).

De laterale positie van voertuigen is een aanwijzing of bestuurders gemakkelijk binnen de rijstrook rijden. Indien er te veel naar rechts wordt gereden kan het betekenen dat er vrees is voor conflicten met tegenliggers. De laterale positie van voertuigen hangt dus samen met de samenstelling en inrichting van de verharding. De andere gedragingen worden meer beïnvloed door het verloop van de weg (het alignement) en het verkeer, en dienen puur als aanvulling. De videobeelden zijn geanalyseerd op basis van het aantal keer dat een bepaald gedrag in een tijdsinterval van 5 minuten is waargenomen.

De gedragswaarnemingen zijn uitbesteed aan Meetel Bv die de waarnemingen heeft uitgevoerd op een normale werk- en weekenddag in

het najaar van 2012. Op alle locaties, en zowel de werkdag als de weekenddag, zijn de waarnemingen uitgevoerd op de volgende tijden:

- 07:00-09:00
- 12:00-14:00
- 16:00-18:00

De videoapparatuur is gedurende oktober en november 2012 geïnstalleerd. In de meeste gevallen is gebruikgemaakt van bestaande lichtmasten, verkeersborden en andere meubilair in de nabije omgeving van de onderzoekslocatie. Helaas was er op vier locaties geen mogelijkheid om de camera's op deze wijze te bevestigen en is besloten gebruik te maken van bomen. Achteraf bleek dit een foute keuze te zijn geweest en was de kwaliteit van de beelden dermate slecht dat deze niet zonder aanzienlijke extra inspanning geanalyseerd konden worden. Vanwege tijdsgebrek is besloten om deze locaties voor dit onderzoek buiten beschouwing te laten waardoor het aantal locaties in de vier hoofdgroepen is gereduceerd naar drie in groep 1 (locaties 7, 10 en 18; zie *Tabel 5.4*), één in groep 2 (locatie 14), drie in groep 3 (locaties 8, 11 en 13) en zes in groep 4 (locaties 3, 6, 9, 12, 15 en 16).[9] De resultaten van deze metingen worden in *Paragraaf 5.1.4* besproken.

5.1.4. *Resultaten gedragsonderzoek*

De observatiegegevens van de laterale posities en de voertuigintensiteiten zijn in *Tabel 5.7* opgenomen.

Uit de meetgegevens is af te leiden dat het aantal overschrijdingen van kant- en asmarkering in bijna alle gevallen minder dan 1 procent is. Alleen in groep 2 wordt in ruim 2 procent van de gevallen de asmarkering overschreden.

[9] Op locaties 1, 2, 4 en 5 konden geen camera's worden bevestigd en zijn geen gedragswaarnemingen geanalyseerd.

Tijdsperiode		Intensiteit Vtg/15 min	Laterale plaats (vtg/15 m)			Overschrijdingen (aantal vtg/15 min)			
						Kantmarkering		Asmarkering	
			L	M	R	Zonder tegenligger	Met tegenligger	Zonder tegenligger	Met tegenligger
Groep 1: Enkele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering									
07:00-09:00	X	39,75	0,75	34,38	4,63	0,04	0,04	0,00	0,00
	S	10,75	1,11	13,89	6,74	0,20	0,20	0,00	0,00
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
	∑	954,00	18,00	825,00	111,00	1,00	1,00	0,00	0,00
12:00-14:00	X	30,58	1,00	25,29	4,29	0,00	0,08	0,33	0,00
	S	5,93	1,02	6,84	6,40	0,00	0,28	0,64	0,00
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	24,00	24,00	0,00
	∑	734,00	24,00	607,00	103,00	0,00	2,00	8,00	0,00
16:00-18:00	X	62,54	1,54	50,17	10,83	0,00	0,00	0,08	0,00
	S	18,43	2,34	8,96	16,55	0,00	0,00	0,41	0,00
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	
	∑	1501,00	37,00	1204,00	260,00	0,00	0,00	2,00	0,00
Groep 2: Enkele onderbroken asstreep en doorgetrokken kantmarkering									
07:00-09:00	X	53,38	8,88	41,13	3,38	0,00	0,00	1,25	0,00
	S	7,63	2,70	7,86	1,41	0,00	0,00	1,39	0,00
	n	8,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	8,00	0,00
	∑	427,00	71,00	329,00	27,00	0,00	0,00	10,00	0,00
12:00-14:00	X	36,00	9,25	24,38	2,38	0,13	0,25	1,63	0,25
	S	9,80	2,31	8,14	1,92	0,00	0,00	2,07	0,46
	n	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	∑	288,00	74,00	195,00	19,00	1,00	2,00	13,00	2,00
16:00-18:00	X	63,63	7,50	48,25	7,75	0,50	0,38	1,38	0,38
	S	10,74	2,20	8,68	3,11	0,76	0,74	2,00	0,74
	n	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	∑	509,00	60,00	386,00	62,00	4,00	3,00	11,00	3,00

Tijdsperiode		Intensiteit Vtg/15 min	Laterale plaats (vtg/15 m)			Overschrijdingen (aantal vtg/15 min)			
						Kantmarkering		Asmarkering	
			L	M	R	Zonder tegenligger	Met tegenligger	Zonder tegenligger	Met tegenligger
Groep 3: Dubbele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering									
07:00-09:00	X	80,83	6,08	62,08	12,67	0,46	0,42	0,54	0,08
	S	55,95	6,59	44,04	8,54	1,10	0,97	1,10	0,28
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
	∑	1940,00	146,00	1490,00	304,00	11,00	10,00	13,00	2,00
12:00-14:00	X	48,38	3,54	39,75	5,08	0,08	0,00	0,33	0,00
	S	29,29	1,79	26,68	2,55	0,41	0,00	0,64	0,00
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
	∑	1161,00	85,00	954,00	122,00	2,00	0,00	8,00	0,00
16:00-18:00	X	100,33	6,96	76,54	16,75	0,58	0,04	0,25	0,00
	S	49,10	5,42	32,36	13,12	0,93	0,20	0,53	0,00
	n	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
	∑	2408,00	167,00	1837,00	402,00	14,00	1,00	6,00	0,00
Groep 4: Dubbele doorgetrokken asstreep en onderbroken kantmarkering									
07:00-09:00	X	88,31	6,71	74,21	7,19	0,25	0,00	0,54	0,15
	S	26,91	5,23	26,36	3,96	0,53	0,00	1,03	0,77
	n	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	0,00	48,00	48,00
	∑	4239,00	322,00	3562,00	345,00	12,00	0,00	26,00	7,00
12:00-14:00	X	57,54	5,92	43,92	7,63	0,25	0,10	0,69	0,04
	S	23,49	5,30	17,18	8,08	0,64	0,37	1,19	0,20
	n	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00
	∑	2762,00	284,00	2108,00	366,00	12,00	5,00	33,00	2,00
16:00-18:00	X	97,40	9,35	78,63	9,38	0,35	0,21	0,33	0,10
	S	35,99	13,16	28,95	5,04	0,67	0,46	0,95	0,37
	n	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00	48,00
	∑	4675,00	449,00	3774,00	450,00	17,00	10,00	16,00	5,00

Noot:

X: gemiddeld per kwartier

S: standaarddeviatie van het gemiddelde X

n: aantal gemeten kwartieren (aantal locaties x 8 kwartieren)

∑: totaal aantal (n x X)

Tabel 5.7. *Laterale posities op provinciale GOW80-wegen.*

In *Tabel 5.8* is per groep de verdeling van de voertuigen over de laterale posities op de rijstrook bepaald, zowel in de spits als over de volledige dag.

Groep	Deel van de dag	Laterale positie (%)		
		Links	Midden	Rechts
Groep 1	Spits	2,24	82,65	15,11
	Totaal	2,48	82,66	14,86
Groep2	Spits	14,00	76,39	9,51
	Totaal	16,75	74,35	8,82
Groep3	Spits	7,20	76,52	16,24
	Totaal	7,22	77,71	15,03
Groep 4	Spits	8,65	82,30	8,92
	Totaal	9,04	80,88	9,94

Tabel 5.8. *Voertuigverdeling over de laterale posities in de spits en voor het totaal.*

Uit *Tabel 5.8* valt te concluderen dat er geen opvallend verschil is tussen de laterale posities van voertuigen over de gehele dag genomen en in de spits. Dit is bevestigd met een chi-kwadraattoets (op basis van de absolute aantallen).[10]

Om te controleren of er een verschil is tussen de groepen is eveneens een chi-kwadraattoets uitgevoerd (op basis van de absolute aantallen). Hieruit blijkt dat de verdeling van de laterale posities significant verschilt tussen alle groepen. Omdat de groepen op meer dan één kenmerk van elkaar verschillen, is de oorzaak hiervan niet eenduidig aan te wijzen.

Het percentage auto's dat een laterale positie rechts op de rijstrook aanhoudt is in groep 3 bijvoorbeeld beduidend hoger dan in groep 4. Dit is opvallend, aangezien de obstakelafstand in groep 3 kleiner is dan in groep 4 en de rijstrookbreedte ongeveer gelijk is in beide gevallen. Op basis van de andere kenmerken zou een verklaring de bredere redresseerstrook van groep 3 kunnen zijn en/of de bredere asmarkering van groep 4 (grotere afstand tot het tegemoetkomend verkeer).

Het aandeel auto's dat een linker laterale positie kiest in groep 2 is in vergelijking met groep 1 mogelijk te verklaren vanuit de krappe obstakelvrije zone aan een zijde. Een andere mogelijkheid is dat dit het gevolg is van een relatief brede rijstrook in groep 2 en het ontbreken van een inhaalverbod, waardoor relatief vaak links van het midden wordt gereden.

Wanneer groep 1 met groep 3 en 4 wordt vergeleken, dan is te zien dat voertuigen op de wegen van groep 3 en 4 relatief vaker links van het midden rijden dan in groep 1, ondanks de vergelijkbare rijstrookbreedtes. Gezien de lagere intensiteiten, de krappere redresseerstrookbreedte en de krappere obstakelvrije zone van groep 1, is dit vermoedelijk het gevolg van de bredere rijrichtingscheiding van groep 3 en 4 (en dus grotere afstand tot de tegenligger).

[10] De absolute aantallen zijn bepaald op basis van *Tabel 5.7*.

5.2. De ontwikkeling van Safety Performance Functions voor GOW80-wegen

Zoals in *Paragraaf 2.3.2* is aangeduid, zijn binnen dit onderzoek verschillende Safety Performance Functions (SPF's) voor Nederlandse GOW80-wegen ontwikkeld. Het doel daarvan is om de mogelijkheden voor het gebruik van Crash Prediction Models (CPM's – en specifiek SPF's) in Nederland te onderzoeken.

De modellen die hier zijn gepresenteerd zijn ontwikkeld aan de hand van de SWOV-onderzoeksdatabase wegkenmerken (SODBW). Deze database bevat gegevens van wegkenmerken, jaargemiddelde etmaalintensiteiten en ongevallen. De gegevens zijn ingedeeld op basis van de hectometrering in honderdmeterwegvakken. De keuze om deze database te gebruiken is gebaseerd een vergelijking van verschillende datasets die ons ter beschikking stonden (zie *Paragraaf 5.1.1 Tabel 5.1*)[11].

Paragraaf 5.2.1 biedt een introductie in de modeltheorie van SPF's. Een analyse van de data is gegeven in *Paragraaf 5.2.2*. Ten slotte volgt de analyse van het model in *Paragraaf 5.2.3*: modelanalyse.

5.2.1. *Modeltheorie*

5.2.1.1. Algemene modelvorm van een CPM

Binnen het project RIPCORD-Iserest (Reurings et al., 2007) is onderzoek gedaan naar een geschikte (algemene) modelvorm van CPM's voor gebruik in Europa. Op basis van een literatuurstudie naar de theorie en recente publicaties komen zij tot een algemeen geaccepteerde vergelijking voor het beschrijven van de relatie tussen ongevallen, de expositie en weg- en gedragskenmerken:

Vergelijking 5-1
CPM in de algemene vorm

$$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta_q} L^{\beta_l} e^{\sum \beta_i x_i}$$

Waar:

E(λ) = het verwachte aantal ongevallen op een wegdeel in een bepaalde periode
Q = etmaalintensiteit (of *JGEI*)
L = de weglengte
β;α = te schatten parameters
x = wegkenmerken of risicofactoren

De som van de exponent staat voor een set van risicofactoren (waaronder wegkenmerken) x_i, met nader te bepalen parameterwaarden β_i. Deze parameters beschrijven het verband tussen de risicofactoren en de ongevallenfrequentie, gecorrigeerd voor de invloed van de expositie (mits de risicofactoren en expositievariabelen onafhankelijk zijn).

Tevens geldt dat $Q^{\beta} = e^{\ln(Q).\beta}$. Daarmee is de vergelijking ook als volgt te herschrijven:

[11] De database van Limburg is in een vervolganalyse geëlimineerd. Daaruit bleek dat van slechts een beperkt deel van de wegen de wegbreedtes waren geïnventariseerd. Daarmee bleven er te weinig data over voor een modelanalyse van toegevoegde waarde.

Vergelijking 5-2 $$E(\lambda) = e^{\sum coefficienten \ . \ variabelen}$$

5.2.1.2. Kansfunctie

Een kansverdeling beschrijft de kans op een gebeurtenis. Binnen dit onderzoek is ervoor gekozen de kans op een ongeval te beschrijven met behulp van de negatief binomiale verdeling. Deze keuze is afgestemd op de eigenschappen van de data, gemeengoed in ongevallenonderzoek en beschikbaarheid in statistische softwarepakketten.

Ongevallendata zijn een vorm van teldata (of frequentiedata). Deze teldata zijn van het type waarin aantallen gebeurtenissen worden geteld (in dit geval het aantal ongevallen op een wegvak) zonder dat er sprake is van een hiërarchie in die data. Deze vorm van data kan daarom per definitie geen negatieve waarden aannemen. In het veld van ongevallenonderzoek wordt algemeen aangenomen dat de kans op een ongeval goed te benaderen is op basis van de Poisson- of negatief binomiale (NB-)verdeling of een variant daarop.

Uit de praktijk blijkt echter dat het gebruik van de standaard Poisson-verdeling in ongevallenonderzoek vaak leidt tot overdispersie. Dit is een situatie waarin de variantie groter is dan het gemiddelde van de ongevallen-schatting. Deze overdisperie leidt tot een overschatting van de significantie-test van de parameterschatting, wat inhoudt dat een parameterschatting onterecht als significant kan worden aangemerkt. Om voor dit fenomeen te corrigeren is in dit onderzoek gekozen voor het gebruik van de NB-verdeling. De dispersieparameter in de NB-verdeling corrigeert namelijk voor overdispersie.

Daarnaast is de NB-verdeling standaard geïmplementeerd in veel statistische softwarepakketten als onderdeel van beschikbare regressieprocedures.[12]

5.2.1.3. Modelkalibratie

Een CPM dient te worden gekalibreerd om de verwachte (geregistreerde) ongevallenfrequentie *E(λ)* uit te kunnen drukken in een selectie van expositie- en wegkenmerken x_i op basis van modelparameters β_i. Daarvoor dient een regressie te worden uitgevoerd van ongevallendata. De toegepaste techniek om de regressie uit te voeren is die van Generalized Linear Modelling (GLM), een numerieke iteratieve procedure waarbij op basis van 'maximum likelihood estimation' de parameterwaarden worden geschat.

De kwaliteit van de modelkalibratie wordt getoetst op basis van een analyse van de parameterschatting en de modelfit. De modelfit van elk model wordt getoetst met behulp van de Likelihood Ratio Test (LRT). Met behulp van de LRT wordt getest of de likelihood-waarde van het model in kwestie statistisch significant afwijkt van het nul-model (een model met enkel een

[12] Er is onderzoek beschikbaar naar kansverdelingen die in staat worden geacht nauwkeuriger parameterschattingen te geven. Deze hebben echter vaak nog niet hun weg gevonden naar standaardprocedures in dit type software en zijn daarom nog niet geschikt voor praktijkgericht onderzoek.

interceptwaarde). Dat wil zeggen dat er wordt getest of het model een hogere mate van waarschijnlijkheid heeft dan het nul-model (Dobson, 2002).

Daarnaast worden de parameterschattingen getoetst op basis van de volgende punten.

- Ligt de parameterschatting in lijn met de effecten die op basis van de literatuur en vergelijkbare studies verwacht mogen worden?[13]
- Is de parameterschatting statistisch significant met een waarde van *p*, kleiner dan 0,05, dan wel indicatief met een waarde van 0,05-0,1?[14]
- Is de grootte van het effect relevant?[15]

5.2.1.4. Afwijking van het algemene model

De SWOV heeft onderzocht in hoeverre een CPM voor de Nederlandse situatie afwijkt van het algemeen gangbare model (*Vergelijking 5-1*), dit voor de relatie tussen de etmaalintensiteit en de ongevallenfrequentie (Van Petegem, 2012; Reurings et al., 2006).

In deze onderzoeken wordt beargumenteerd dat verkeersintensiteit niet alleen een maat is van de hoeveelheid verkeer, maar dat er ook een verband bestaat tussen de verkeersintensiteit en de aanwezigheid van ander verkeer en andere wegkenmerken. Hierbij wordt aangenomen dat overwegend drukkere wegen veiliger worden ontworpen (wegen met veel verkeer zijn vaak breder, bermen van drukke wegen zijn overwegend veiliger ontworpen). Van Petegem (2012) en Reurings et al. (2006) vonden beide een situatie waarbij het aantal ongevallen in eerste instantie stijgt als functie van de intensiteit (ook dan kan overigens sprake zijn van een daling van het risico) en vanaf een bepaalde intensiteit weer daalt. Deze situatie kan echter niet met een enkele machtsfunctie van de intensiteit worden gemodelleerd. Daarom kan het zinvol zijn twee variabelen van de intensiteit in het CPM mee te nemen. Het model met de dubbele intensiteitsvariabele is als volgt vormgegeven:

Vergelijking 5-3
CPM in de aangepaste vorm

$$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta_q} L^{\beta_l} e^{\frac{Q}{1000}\beta_{qf} + \sum \beta_i x_i}$$

Of deze afwijkende modelvorm een passende oplossing biedt, gegeven de data, kan visueel en statistisch worden getoetst.

Met behulp van een visuele analyse waarbij de ongevallenfrequentie wordt uitgezet tegen de jaargemiddelde etmaalintensiteit (*JGEI* of *Q*), kan worden onderzocht of na een initiële groei sprake is van een daling van het aantal ongevallen bij een stijging van de intensiteit. Indien dit het geval lijkt te zijn, geeft dit aanleiding om statistisch te toetsen of een model op basis van *Vergelijking 5-3* een betere modelfit geeft dan een model op basis van *Vergelijking 5-1*).

[13] Om deze toets uit te kunnen voeren dienen enkel modelvariabelen te worden meegenomen waarvan wordt verwacht dat deze een relevant effect hebben op de ongevalskans en waarvan een inschatting van het effect kan worden gemaakt op basis van beschikbare literatuur en of kennis.
[14] Een waarde kleiner dan 0,05 betreft een statistisch significant verband. Een waarde van 0,05-0,1 betreft een indicatief verband. Let op: bij grote datasets kunnen ook zwakke effecten met een grote standaardafwijking als statistisch significant uit de bus komen.
[15] Bij het werken met grote datasets kunnen ook zeer kleine (niet-relevante) effecten statistisch significant worden.

Voor het vergelijken van de modelfit van twee modellen kan gebruik worden gemaakt van de Likelihood Ratio Test (LRT) en het Akaike Information Criterium (AIC). De LRT geeft aan de likelihood van model A statistisch significant afwijkt van model B, waarbij een hogere (minder negatieve) likelihood-waarde duidt op een betere modelfit (Dobson, 2002). Het AIC is gebaseerd op de 'likelihood ratio statistics' (de basis voor de LRT) en is vergelijkbaar met de LRT. Het AIC corrigeert echter ook voor mogelijke overfitting van de data die kan ontstaan door het toevoegen van extra variabelen. Daarbij geldt dat een lagere AIC-waarde duidt op een betere modelfit (Mazerolle, 2004).[16]

5.2.1.5. Selectie van wegvakken

Bij het onderzoeken van relatie tussen wegkenmerken en ongevallen is het belangrijk om stil te staan bij de selectie van wegvakken. De selectie dient voort te vloeien uit de randvoorwaarden die door de homogeniteit van functie, vorm en gebruik van de infrastructuur worden opgelegd.

Een homogene selectie is van belang omdat de relatie tussen wegkenmerken en ongevallen kan variëren onder verschillende omstandigheden. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld.

Stel dat we het effect van de middenbermbreedte op frontale ongevallen willen onderzoeken op GOW80-wegen. Dan dienen we wegen te selecteren met middenbermen van variërende breedtes, zonder afschermingsconstructie, eenzelfde aantal rijstroken per rijbaan en bij voorkeur eenzelfde verhardingsbreedte. Hiervoor zijn verschillende redenen aan te dragen:

- In het geval van een afschermingsconstructie wordt een frontaal ongeval altijd voorkomen. De breedte van de middenberm heeft hier geen invloed meer op. Deze is enkel nog van invloed op de kans op een aanrijding met de afschermingsconstructie.
- Een stuurfout op een eenstrooksrijbaan is een potentieel risico op een frontaal ongeval, waarbij de middenberm bescherming biedt. Op een tweestrooksbaan bied de linkerstrook echter ruimte voor correctie, of kan de stuurfout leiden tot een kop-staartbotsing. In beide gevallen speelt de breedte van de middenberm geen rol, of althans een kleinere dan bij een eenstrooksrijbaan.
- De breedte van de verharding is van invloed op de ruimte voor correctie en het risico om van de weg te raken bij een stuurfout. Daarmee beïnvloedt de verhardingsbreedte ook de kans om in de berm te raken en daarmee de benodigde bermbreedte om veilig tot stilstand te komen of terug de weg op te sturen.

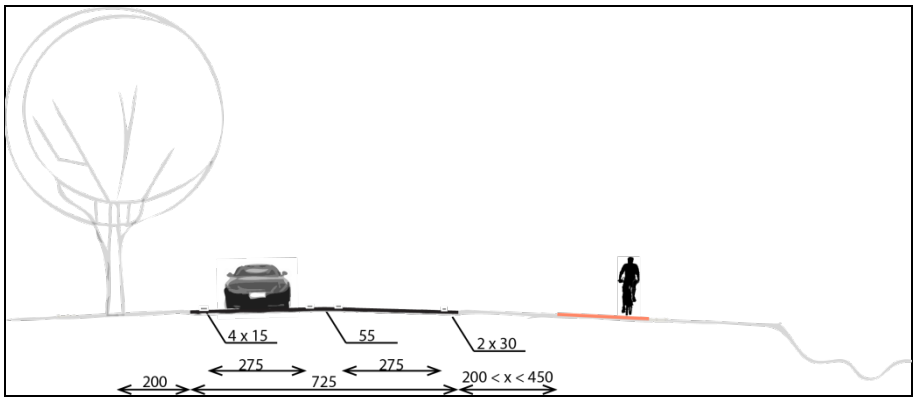
Doordat de relatie tussen de middenbermbreedte en ongevallen samenhangt met deze andere kenmerken, hangen de kans op het vinden van een statistisch significant verband en de mogelijke conclusies samen met de verwerking van deze kenmerken in de selectie van wegvakken.
Indien het niet mogelijk is om een bepaalde variatie in de selectie van wegvakken te elimineren, is het belangrijk om dit te vermelden, in verband met het verbinden van mogelijke conclusies aan de gevonden relatie.

[16] Beide toetsen zijn alleen van toepassing op modellen die zijn gekalibreerd op dezelfde dataset. Bovendien is de LRT enkel van toepassing op 'nested' modellen.

5.2.2. *Data-analyse*

De richtlijnen voor het ontwerp van een GOW80 zijn besproken in *Hoofdstuk* ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.***. Binnen dit onderzoek is het de wens om een basismodel (SPF) te ontwikkelen voor wegen die volgens deze richtlijnen zijn vormgegeven. Om te bepalen in welke mate bestaande wegen aan deze richtlijnen voldoen, zijn de provinciale wegen van Drenthe en Gelderland (uit de SODBW) in *Tabel 5.9* met de basiskenmerken vergeleken. Daarbij zijn de richtlijnen voor de vormgeving van het dwarsprofiel per basiskenmerk uit de BKWO (CROW, 2012a) uitgezet tegen de meest voorkomende vormgeving op de wegen van Drenthe en Gelderland.
Voor zover er gegevens over de wegen beschikbaar zijn, blijken ze slechts beperkt aan die basiskenmerken te voldoen. Zo voldoet slechts de helft van de wegen aan de eis van een minimale obstakelafstand van 4,5 meter. Van de wegen die niet voldoen aan dit basiskenmerk, is in 40% van de gevallen de obstakelafstand zelfs kleiner dan 2 meter. Ook voldoet slechts 50% van de wegen aan de eis dat erfaansluitingen niet voorkomen. Op slechts 9% van de wegen is een ventweg (of ETW) aanwezig, wat het hoge aandeel van wegen met een erfaansluiting kan verklaren. Omdat op 68% van de wegen borden met verboden ontbreken, zal op een aanzienlijk deel dus ook geen volledig geslotenverklaring gelden en is landbouwverkeer dus toegestaan. Wel is in de meeste gevallen een voorziening voor (brom)fietsers aanwezig. Daarnaast blijkt dat, gelet op de rijrichtingscheiding, de EHK ten tijde van de inventarisatie van wegkenmerken van de SODBW (namelijk 2008) nog slechts beperkt was doorgevoerd. Op basis van het aantal wegprofielen in *Paragraaf 5.1* waar de EHK bleken te zijn doorgevoerd op plekken waar deze niet werden verwacht, lijkt er sinds 2008 echter een aanzienlijk deel van de wegen te zijn voorzien van de EHK.

Op basis van de gegevens uit de SODWB, het bestand van Meetel en de database van Limburg is het volgende gemiddelde dwarsprofiel in de praktijk samengesteld (*Afbeelding 5.1*).



Afbeelding 5.1. *Gemiddeld dwarsprofiel in Nederland*.

	Basiskenmerk	CROW Ideaal	CROW Minimaal	SODBW meest voorkomend
A	Verharding	Gesloten	Gesloten	Gesloten
B	Rijrichtingscheiding	Fysieke rijrichtingscheiding	Dubbele doorgetrokken asmarkering	Enkel onderbroken 48%
		2x1 met middenberm 3 - 6 meter (Duurzaam Veilig)	Breedte 0,15 meter minimaal	
		1x2 met moeilijk overrijdbare rijrichtingscheiding	Breedte 0,8 meter gewenst	
C	Lengtemarkering	Links/midden doorgetrokken	Onderbroken kantstreep	Doorgetrokken kantstreep
		Rechts onderbroken kantstreep		
D	Openbare verlichting	Enkel ter plaatse van gevaarlijke punten	Enkel ter plaatse van gevaarlijke punten	Niet aanwezig 70%
E	Voorzieningen Landbouwverkeer	Parallelvoorzieningen aanwezig waar erven, akkers of andere paden op aansluiten	Landbouwverkeer toegestaan, mits passeermogelijkheden aanwezig zijn	ventweg 9%
G	Erfaansluiting op de rijbaan	Parallelvoorzieningen aanwezig waar erven, akkers of andere paden op aansluiten	Uitzondering voor uitritten op de hoofdrijbaan zijn toegestaan. Uitgangspunt is echter dat uitritten van percelen niet voorkomen.	Niet aanwezig 50%
H	Menging verkeerssoorten	Parallelvoorzieningen aanwezig waar erven, akkers of andere paden op aansluiten	Deels toegestaan	Geen borden met
				Verboden 68%
				81% parallelvoorziening aanwezig
I	Fietsvoorzieningen	Parallelvoorzieningen aanwezig waar erven, akkers of andere paden op aansluiten	Vrijliggend fietspad voor (brom)fietsverkeer, of alternatieve route	Vrijliggend fietspad binnen 5 meter afstand 52%
J	Redresseerstrook	Aanwezig	Aanwezig	Geen informatie beschikbaar
		0,3 - 0,6 m maximaal	0,3 m	
K	Obstakelafstand	Obstakelvrije zone aanwezig (6,0 meter)	Obstakelvrije zone aanwezig (4,5 meter)	Niet aanwezig 53% (obstakel binnen de 4,5 meter aanwezig links of rechts van de weg)
M	Parkeren	Niet parkeren op of langs de rijbaan		Geen voorziening 90%
N	Horizontaal en verticaal alignement	Ontwerpsnelheid is 80 km/uur	Ontwerpsnelheid is 80 km/uur	96%recht
				98% vlak
O	Hectometerpaaltjes	Aanwezig	Aanwezig	Aanwezig
P	Reflectorpaaltjes	Aanwezig	Aanwezig	Beide zijden 75%
Q	Helling Talud	Moet voldoen aan een veilige hellingshoek indien aanwezig	Moet voldoen aan een veilige hellingshoek indien aanwezig	Meegenomen in obstakelvrije zone
R				
S	Draagkrachtige berm	Voldoende berijdbare en draagkrachtige berm is aanwezig	Voldoende berijdbare en draagkrachtige berm is aanwezig,	Geen informatie beschikbaar

Tabel 5.9. *Vergelijking BKWO en bestaande wegen op basis van de SODBW (CROW, 2012a).*

5.2.2.1. Selectie van wegvakken

In de vergelijking van basiskenmerken ten opzichte van de meest voorkomende kenmerken in de praktijk zijn de wegvakken per basiskenmerk beoordeeld. Dit zegt echter nog onvoldoende over de vormgeving van het complete dwarsprofiel in de praktijk. Voor de ontwikkeling van een basismodel dat representatief is voor wegen die volgens de basiskenmerken zijn vormgegeven, zijn er zes dataselecties gemaakt uit de complete SODBW (zie *Tabel 5.10*). Deze selecties zijn gebaseerd op basis van de CROW-basiskenmerken en de beschikbare onderzoeksgegevens binnen de SODBW.

Variant	Wegtype GOW buiten bebouwde kom	Rijbaanindeling 1x2	Snelheidslimiet 80 km/uur	Dubbel doorgetrokken asmarkering (B)	Geen verlichting aanwezig (D)	Geen uitritten \ erfaansluitingen aanwezig (G)	Parallelvoorziening en/of geslotenverklaring aanwezig (E, H, I)	Minimale obstakelvrije zone van 4,5 meter (K, Q)	Geen parkeervoorziening / parkeerverbord (M)	Horizontaal allignement – recht (N)	Verticaal allignement – Vlak (N)	Reflectorpalen aanwezig (O)
SODBW1	x	x	X	x	x	x	x	X	x	x	x	x
SODBW2	x	x	X	x		x	x	x	x	x	x	
SODBW3	x	x	X	x			x	x		x	x	
SODBW4	x	x	X				x	x		x	x	
SODBW5	x	x	X					x		x	x	
SODBW6	x	x	X					x				

Tabel 5.10*. Wegvakvarianten op basis van de CROW-basiskenmerken (tussen haakjes () is gerefereerd naar de basiskenmerken in Tabel 5.9).*

De eerste selectie is een selectie van wegvakken die voldoen aan alle basiskenmerken waarover gegevens beschikbaar zijn. De daaropvolgende dataselecties zijn gebaseerd op de eliminatie van selectiecriteria. Elke dataselectie is dus gemaakt op één of meer selectiecriteria minder dan de selectie die daaraan voorafging. Daarmee nemen bij elke volgende selectie de overeenkomsten tussen de specificaties van de wegvakken en de basiskenmerken verder af. Omdat met elke opeenvolgende stap de representativiteit van de data ten opzichte van het basisdwarsprofiel afneemt, zijn eerst de basiskenmerken geëlimineerd die als minst relevant werden beoordeeld voor de verkeersveiligheid.
Door het successievelijk wegstrepen van criteria voor de wegvakken, worden in elke opeenvolgende stap meer wegvakken uit de SODBW geselecteerd. Dit kan gunstig zijn voor de precisie en significantie van de parameterschattingen. Deze nemen immers toe naarmate deze gebaseerd

zijn op een grotere hoeveelheid relevante data. Omgekeerd is één van de belangrijkste problemen in de ontwikkeling van CPM's een beperkte omvang van de database, waardoor een significante schatting van modelparameters niet mogelijk is (Schermers & Duivenvoorden, 2010).

5.2.2.2. Selectie van ongevallen

Voor de ontwikkeling van een SPF zijn geregistreerde ernstige ongevallen op zes selecties van wegvakken in de periode van 2004 t/m 2008 beschouwd. Deze keuze is ingegeven door het onderstaande:

- Het aantal dodelijke ongevallen is te laag voor de kalibratie van een CPM.
- Omdat de focus van verkeersveiligheidsbeleid ligt op het terugdringen van het aantal ernstige ongevallen is ook hier gekeken naar ernstige ongevallen. Dit betreffen ongevallen met een dodelijke afloop of een ziekenhuisopname, waarbij de letselernst ten minste is geïndiceerd als MAIS 2.[17]
- Er is een sterke daling van de ongevallenregistratie na 2008. Daarom zijn gegevens van na deze periode niet gebruikt
- De data zijn geïnventariseerd omstreeks 2007-2008. Door de ongevallen-historie te beperken tot 2004 wordt het aandeel van wegen dat in die periode is aangepast beperkt gehouden.

Daarnaast zijn alleen ongevallen geselecteerd waarbij ten minste één motorvoertuig (snelverkeer) betrokken is geweest. Het model is immers gericht op de relatie tussen ongevallen en de expositie van motorvoertuigen en de inrichting van de weg. Andersoortige ongevallen zoals eenzijdige fietsongevallen zijn wel relevant voor de verkeersveiligheid, maar kunnen niet door het model worden verklaard.

5.2.2.3. Datakenmerken dataselectiesets

De totale dataset bevat 7.673 wegvakken (elk 100 m lang) met 761 ernstige ongevallen. De zes dataselectiesets uit *Tabel 5.10* maken daarvan deel uit. Een aantal belangrijke kenmerken van deze datasets staat in *Tabel 5.11.*

[17] MAIS staat voor maximum abbreviated injury score en is een internationaal gebruikte maat in de medische wereld om de letselernst mee aan te duiden. In Nederland worden ongevallen met een MAIS2+ letselindicatie gecategoriseerd als ernstige ongevallen. Deze indicaties zijn afkomstig van ziekenhuisgegevens. (SWOV, 2013)

Variant	Aantal wegvakken	Ernstige ongevallen	Gemiddelde (per wegvak)	Standaarddeviatie	JGEI gemiddeld	Ongevallendichtheid (ernstige ongevallen per jaar per wegvak)	Ongevalsrisico (ernstige ongevallen per jaar / miljoen voertuigkilometer)
SODBW1	54	6	0,111	0,462	7,400	0,022	0,082
SODBW2	293	20	0,068	0,324	6,870	0,014	0,054
SODBW3	539	54	0,100	0,372	7,050	0,020	0,078
SODBW4	1422	130	0,091	0,394	7,300	0,018	0,069
SODBW5	1627	153	0,094	0,399	7,250	0,019	0,071
SODBW6	3589	364	0,101	0,394	7,390	0,020	0,075
Totaal	**7673**	**761**	**0,099**	**0,383**	**6.990**	**0,020**	**0,078**

Tabel 5.11. *Dataselectie omvang, risico en ongevallendichtheid.*

Een belangrijk kenmerk betreft het gemiddeld aantal ongevallen per wegvak en de standaarddeviatie. Deze laten zien dat de gemiddelden en standaarddeviatie van de verschillende dataselecties over het algemeen met elkaar overeenkomen. De verschillen in de gemiddelden zijn klein en vallen binnen elkaars betrouwbaarheidsinterval wanneer de standaarddeviatie in ogenschouw wordt genomen. Daarbij tonen alle selecties een standaarddeviatie die groter is dan het gemiddelde.

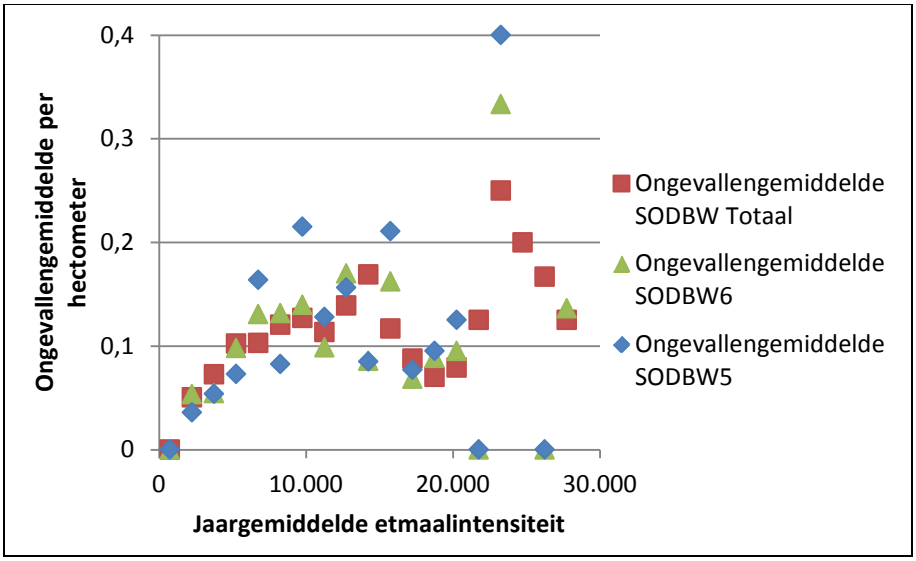
Wat de omvang van de datasets betreft, is in de tabel duidelijk te zien dat er bijna geen wegvakken zijn die voldoen aan de complete set van basiskenmerken uit de BKWO, zoals deze zijn vertaald naar de selectiecriteria van wegvakken. Ook zijn er grote verschillen in omvang van de zes selecties. De datasets van selectie 1, 2 en 3 zijn vrij klein. Vervolgens is er een duidelijke sprong in de omvang van de datasets tussen 3 en 4 en tussen 5 en 6. De invloed daarvan op de modelkalibratie wordt besproken in *Paragraaf 5.2.3*.

Het ongevalsrisico van de verschillende dataselecties lijkt in orde van grootte dicht bij elkaar in de buurt te liggen. Tussen selectie SODBW5 en SODBW2 is het verschil in ongevalsrisico echter 24% en 28%. In welke mate dit verschil een gevolg is van variatie in het wegprofiel, de verkeersintensiteit of toeval (gezien de beperkte omvang van SODBW2) is op basis van deze gegevens niet te zeggen.

5.2.2.4. De relatie tussen ongevallenaantallen en de etmaalintensiteit

Van de relatie tussen ongevallen en de etmaalintensiteit worden twee modelvormen beschouwd; zie *Vergelijking 5-1* en *Vergelijking 5-3*. De eerste stap in de vergelijking van de toepasbaarheid van deze twee modelvormen is een visuele analyse van de data van de verschillende dataselectiesets (*Afbeelding 5.2*). Daartoe zijn de data ingedeeld naar etmaalintensiteitsklasse (*Afbeelding 5.3*). Per klasse is het aantal wegvakken en het aantal

ongevallen over de vijf jaar (2004-2008) gesommeerd. Het ongevallen-gemiddelde in *Afbeelding 5.2* is bepaald als het aantal ongevallen per intensiteitsklasse gedeeld door het aantal wegvakken per intensiteitsklasse.

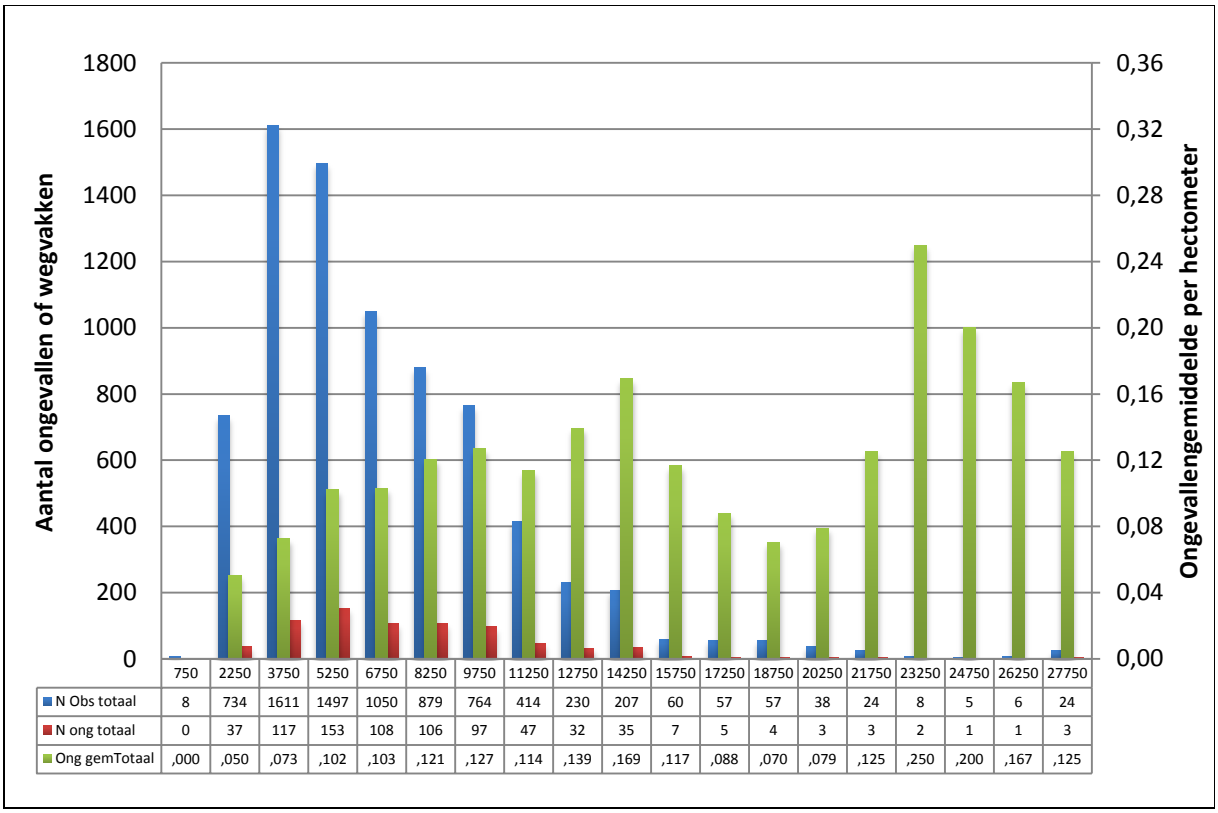


Afbeelding 5.2. *Gemiddeld aantal ongevallen per wegvak uitgezet tegen de jaargemiddelde etmaalintensiteit, periode 2004-2008.*

In de afbeelding is van drie datasets het gemiddeld aantal ongevallen uitgezet tegen de etmaalintensiteit[18]. Tot de 12.500 mvt/etmaal lijken de data redelijk consistent en tonen deze een stijging die beschreven kan worden door een CPM van de exponentiële vorm. Daarna verandert het beeld. Het ongevallengemiddelde lijkt te dalen bij een stijging van de etmaalintensiteit vanaf ongeveer 15.000 mvt/etmaal. Vervolgens zijn er weer hogere gemiddelde waarden waar te nemen bij intensiteiten boven de 22.500 mvt/etmaal. Dit is verder onderzocht door de 'observatieaantallen' (wegvakken met een bepaalde gemiddelde intensiteit) en ongevallen-aantallen nader te bestuderen. Deze zijn afgebeeld in *Afbeelding 5.3*.

De afbeelding toont een sterke daling van de aantallen wegvakken bij toename van de intensiteit. Bij intensiteiten boven de 15.000, daar waar (in *Afbeelding 5.3* maar ook in *Afbeelding 5.2*) sprake lijkt te zijn van een daling van het ongevallengemiddelde, daalt het aantal observaties tot slechts enkel tientallen wegvakken en minder. Dit vormt een mogelijke verklaring voor het grillige verloop in de staart van de data.

[18] De data zijn gecategoriseerd naar groepen van de JGEI met sprongen van 1500 mvt/etmaal.



	750	2250	3750	5250	6750	8250	9750	11250	12750	14250	15750	17250	18750	20250	21750	23250	24750	26250	27750
N Obs totaal	8	734	1611	1497	1050	879	764	414	230	207	60	57	57	38	24	8	5	6	24
N ong totaal	0	37	117	153	108	106	97	47	32	35	7	5	4	3	3	2	1	1	3
Ong gemTotaal	,000	,050	,073	,102	,103	,121	,127	,114	,139	,169	,117	,088	,070	,079	,125	,250	,200	,167	,125

Afbeelding 5.3. *Verdeling van het aantal wegvakken (N Obs), aantal ongevallen (N ong) en ongevallengemiddelde (Ong gem) over de intensiteitsklassen van de totale SODBW.*

Om een indicatie te krijgen of er inderdaad een daling van het aantal ongevallen verwacht mag worden bij een stijging van de intensiteit boven de 15.000 voertuigen per etmaal, is het gemiddeld aantal ongevallen bepaald voor alle data in de staart van de data (intensiteit van 15.000 en hoger). Het aantal observaties en ongevallen hiervan bedraagt 279 en 29, wat neerkomt op een ongevallengemiddelde van 0,10. Dit is een daling van het ongevallengemiddelde van ongeveer 30% ten opzichte van die bij een intensiteit van 12.750 of 14.250. Dit is een duidelijke aanwijzing dat er in deze onderzoeksdatabase sprake kan zijn van een daling in het aantal ongevallen bij een stijging van de intensiteit. Daarom zal naast de algemene modelvorm (*Vergelijking 5-1*) tevens de aangepaste modelvorm (*Vergelijking 5-3*) van het CPM worden getest.

5.2.3. *Modelanalyse*

5.2.3.1. SPF's volgens de algemene CPM-functievorm

Op basis van de dataselectiesets zijn zes Safety Performance Functies (SPF's) gekalibreerd volgens de algemene vorm van het CPM. Deze SPF's hebben de volgende vorm:

Vergelijking 5-4 SPF $$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta_q}$$

De weglengte is hierbij als variabele komen te vervallen. De reden hiervoor is dat de wegvakken in de SODBW allemaal dezelfde lengte hebben (100

meter). De eenheid van de ongevallenfrequentieschatting (E) is daarom een schatting van het aantal ernstige ongevallen per honderd meter per vijf jaar.

De SPF's zijn zoals aangegeven gekalibreerd met behulp van de Generalized Linear Modelling-procedure GENMOD van SAS. De resultaten hiervan zijn weergegeven in *Tabel 5.12*[19].

Dataselectieset	Intercept	Intercept standaard afwijking	Intercept 95% betrouwbaarheidsinterval ondergrens (LR)	Intercept 95% betrouwbaarheidsinterval bovengrens (LR)	Intercept significantie	Intercept exponent (α)	JGEI (Q)	JGEI standaard afwijking	JGEI 95% betrouwbaarheidsinterval ondergrens	JGEI 95% betrouwbaarheidsinterval bovengrens	JGEI siginificantie	Dispersieparameter	Significantie LRT
SODBW1	-2,566	9,873	-32,310	31,944	0,795	7,68E-02	0,042	1,129	-3,862	3,467	0,970	9,055	0,970
SODBW2	-10,943	4,507	-21,560	-2,528	0,015	1,77E-05	0,940	0,510	-0,016	2,147	0,065	8,004	0,054
SODBW3	-11,252	2,723	-17,029	-6,148	0,000	1,30E-05	1,013	0,305	0,439	1,659	0,001	3,496	0,001
SODBW4	-8,9184	1,884	-12,763	-5,311	0,000	1,34E-04	0,745	0,213	0,337	1,180	0,001	6,308	0,000
SODBW5	-8,297	1,642	-11,606	-5,129	0,000	2,49E-04	0,673	0,185	0,315	1,046	0,000	6,209	0,000
SODBW6	-6,948	1,120	-9,173	-4,774	0,000	9,61E-04	0,527	0,126	0,282	0,778	0,000	4,977	0,000
Noot JGEI = Jaargemiddeld etmaalintensiteit; LRT = Likelihood Ratio Test													

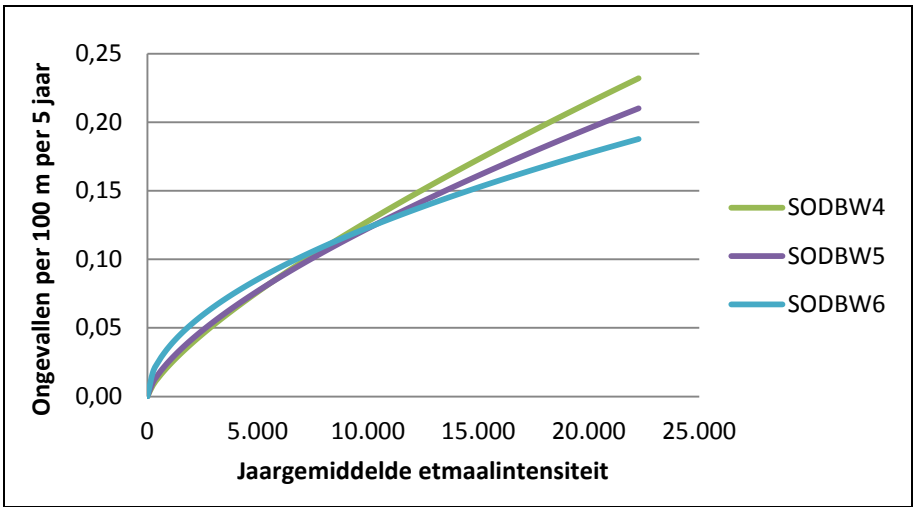
Tabel 5.12. *SPF's van de dataselectiesets SODBW1 - SODBW6 op basis van Vergelijking 5-4.*

De LRT's van modellen op basis van de sets SODBW3 t/m SODBW6 zijn alle vier sterk significant. Daarnaast zijn de parameterschattingen van deze vier modellen allemaal sterk significant. Wel ligt bij de modellen 3 t/m 5 de waarde 1 binnen de betrouwbaardheidsintervallen van de parameterschattingen voor de *JGEI* (of *Q*); deze vormt dus ook een mogelijke oplossing in die modellen. De precisie van de parameterschattingen neemt echter sterk toe (de breedte van het betrouwbaarheidsinterval neemt af) bij de opeenvolgende SPF's, als gevolg van de steeds grotere datasets waarop deze zijn gekalibreerd. Van model 6 ligt 1 niet binnen het betrouwbaarheidsinterval van de parameterschatting van de *JGEI*. Ten slotte zijn de parameterschattingen van de *JGEI* qua teken en orde van grootte vergelijkbaar met een vergelijkbaar model in een studie van de SWOV op basis van GOW80 Type II-wegen van de regio Haaglanden (Reurings & Janssen, 2007).[20]

[19] De kalibratie wordt verricht in de logaritmische vorm van de vergelijking. De modelvariabele van de parameterschatting van α is daarom de exponent van de parameterschatting van het intercept

[20] Het model had dezelfde basisvorm, met als extra variabele de weglengte. De paramaterschatting van de JGEI bedroeg 0,497 met een standaardafwijking van 0,2. In dit model is geen voorselectie van wegen gemaakt op basis van wegkenmerken.

De functies SODBW4 t/m -6 zijn geplot in *Afbeelding 5.4.*[21]



Afbeelding 5.4. *Schatting ongevallenfrequentie (functieplot SPF's) op basis van verschillende selecties van wegvakken, periode 2004-2008.*

Op basis van de huidige analyses is niet aan te geven of de functies in *Afbeelding 5.4.* van elkaar verschillen of niet.

Verder toont *Tabel 5.12* dat de betrouwbaarheidsintervallen smaller worden (dus de parameterschatting preciezer) naarmate de omvang van de dataselectiesets toeneemt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat een uitbreiding van de database leidt tot preciezere parameterschattingen, met smallere betrouwbaarheidsintervallen, waardoor een onderscheid tussen de verschillende modellen wellicht mogelijk wordt. Dit illustreert het belang van een uitbreiding van de onderzoeksdatabase voor vervolgonderzoeken.

5.2.3.2. Aangepaste SPF-functievorm

Op basis van de in *Paragraaf 5.2.2.4* beschreven data-analyse is besloten om ook een modelanalyse op basis van de aangepaste CPM-modelvorm (*Vergelijking 5-3*) uit te voeren. Daarbij zijn modelkalibraties uitgevoerd op de datasets SODBW5 en SODBW6. De aangepaste SPF's hebben de volgende modelvorm:

Vergelijking 5-5 Aangepaste SPF $$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta_q} e^{\frac{Q}{1000}\beta_{qf}}$$

De resultaten van de modelkalibraties zijn weergegeven in *Tabel 5.13* en *Tabel 5.14*.[22] [23] Tevens zijn de SPF's SODBW5* en SODBW6* gevisualiseerd in *Afbeelding 5.5.*

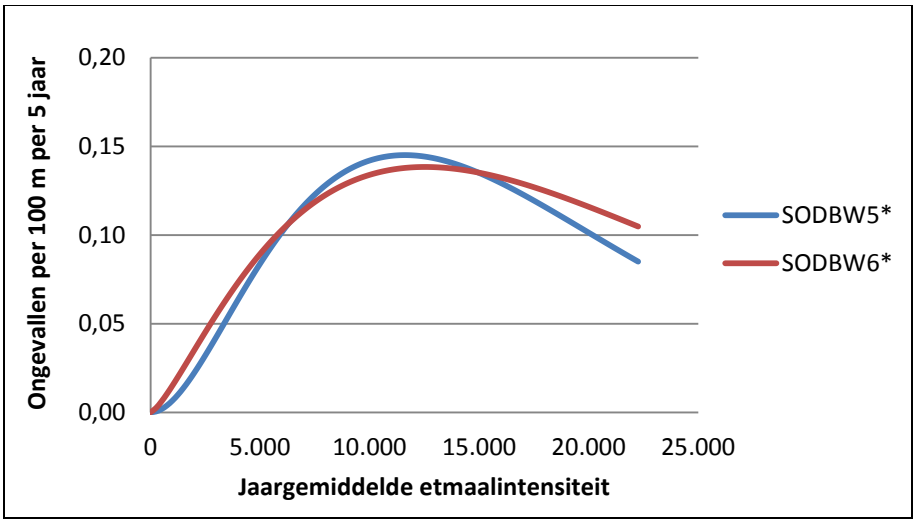
[21] SODBW3 is niet afgebeeld omdat de functie last ondervond van een 'outlier' in de data. SODBW1 en -2 zijn niet afgebeeld omdat de parameterschattingen niet significant waren.
[22] De kalibratie wordt verricht in de logaritmische vorm van de vergelijking. De modelvariabelen van de parameterschattingen van α en β_{qf} zijn daarom de exponent van de parameterschattingen.
[23] De SPF's op basis van de aangepaste CPM-vorm hebben een * als toevoeging in de naam

SODBW5*	Intercept	JGEI	JGEI-factor	Dispersie-parameter	Significantie LRT
Parameterschatting	-18,716	2,008	-0,173	5,851	
Standaardafwijking	4,902	0,618	0,075		
95%-betrouwbaarheids-interval ondergrens (LR)	-28,735	0,835	-0,326		
95%-betrouwbaarheids-interval bovengrens (LR)	-9,429	3,268	-0,029		
Exponent	7,44E-09				
Significantie	0,000	0,001	0,021		
Modelfitkarakteristieken					0,000
Noot JGEI = Jaargemiddeld etmaalintensiteit; LRT = Likelihood Ratio Test					

Tabel 5.13. *Modelkalibratieresultaten van SODBW5* op basis van Vergelijking 5-5.*

SODBW6*	Intercept	JGEI	JGEI-factor	Dispersie-parameter	Significantie LRT
Parameterschatting	-13,602	1,378	-0,110	4,977	
Standaardafwijking	3,042	0,382	0,046		
95%-betrouwbaarheids-interval ondergrens (LR)	-19,755	0,648	-0,205		
95%-betrouwbaarheids-interval bovengrens (LR)	-7,794	2,150	-0,022		
Exponent	1,24E-06				
Significantie	0,000	0,000	0,018		
Modelfitkarakteristieken					0,000
Noot JGEI = Jaargemiddeld etmaalintensiteit; LRT = Likelihood Ratio Test					

Tabel 5.14. *Modelkalibratieresultaten van SODBW6* op basis van Vergelijking 5-5.*



Afbeelding 5.5. *Schatting ongevallenfrequentie (functieplots van SPF's) op basis van de aangepaste CPM-functievorm voor twee dataselectiesets, periode 2004-2008.*

De parameterschattingen van de modellen zijn beide significant. Tevens geeft de LRT van beide modellen met hoge mate van betrouwbaarheid aan dat deze een betere modelfit opleveren dan een gemiddelde schatting.

Op basis van de parameterschattingen en betrouwbaarheidsintervallen is opnieuw geen onderscheid te maken tussen de twee modellen. Daarnaast is te zien dat de precisie van de parameterschattingen van SODBW5* en SODBW6* is afgenomen ten opzichte van SODBW5 en SODBW6[24]. Dit is het gevolg van de toevoeging van een extra modelvariabele van de intensiteit.

Verder verschillen de SPF's op basis van *Vergelijking 5-5* duidelijk van de SPF's op basis van *Vergelijking 5-4*. De SPF's op basis van *Vergelijking 5-5* volgen de eerder visueel waargenomen daling van het ongevallen-gemiddelde bij een stijging van de JGEI in *Paragraaf 5.2.2.4*.

Ten slotte zijn de parameterschattingen van de JGEI qua orde van grootte en teken vergelijkbaar met andere Nederlandse CPM's met dezelfde aangepaste functievorm van de JGEI.[25]
De parameterschatting valt echter net buiten het betrouwbaarheidsinterval van het model van Reurings & Janssen (2007). Omdat de JGEI en JGEI-factor sterk gecorreleerd zijn is het echter op basis van deze gegevens niet vast te stellen of de functies daadwerkelijk van elkaar verschillen.
Verschillen in de waarden van de parameterschatting zijn het logisch gevolg van verschillen in de dataspecificatie, vanwege de beschouwde ongevallenklassen (in het onderzoek van Reurings et al. betroffen dit letselongevallen in plaats van ernstige ongevallen) en mogelijk vanwege regionale verschillen.

Om te bepalen of de aangepaste functievorm een verbetering oplevert van de modelfit, zijn twee statistische toetsen verricht: De log likelihood ratio-test en een vergelijking op basis van het Akaike Information Criterium (AIC). Daarbij is SODBW5 vergeleken met SODBW5* en is SODBW6 vergeleken met SODBW6*. De karakteristieken en resultaten van deze testen zijn gegeven in *Tabel 5.15*.

	Degrees of Freedom	Log Likelihood	LRT	AIC	Evidence ratio
SODBW5	1.625	-457,45		990,10	5,98
SODBW5*	1.624	-454,67	0,02	2.346,24	1,00
SODBW6	3.587	-1100,3		986,52	7,30
SODBW6*	3.586	-1097,3	0,01	2.342,27	1,00

Tabel 5.15. *Statistische testen van de vergelijking van modelfitkarakteristieken.*

[24] Hierbij kan gekeken worden naar de verhouding tussen de parameterschatting en het verschil tussen de parameterschatting en het betrouwbaarheidsinterval. Hoe kleiner de verhouding, hoe preciezer de schatting is.
[25] Deze betreffen een CPM van bermongevallen (Van Petegem, 2012) en van de regio Haaglanden (Reurings & Janssen, 2007). De resultaten zijn opgenomen in *Bijlage 4*.

De eerste test, de LRT toont aan dat met een zekerheid van 98% en 99% de SPF's SODBW5* en SODBW6* een betere schatting van de ongevallenfrequentie geven dan SODBW5 en SODBW6. Ook de AIC-waarden duiden in deze richting. De evidence ratio's die bepaald zijn op basis van deze AIC-waarden geven daarbij aan dat SODBW5* en SODBW6* een 5,98 en 7,30 maal betere schatting geven van de ongevallenfrequentie dan SODBW5 en SODBW6. Hieruit kan worden geconcludeerd dat bij het benaderen van ongevallenfrequentiedata van GOW80-wegen in het model rekening gehouden dient te worden met een daling van de ongevallenfrequentie bij hogere JGEI-waarden. Dit houdt vermoedelijk verband met het veiliger ontwerpen van drukkere wegen, zoals eerder is aangegeven. Een belangrijke conclusie die hieruit volgt is dat het model niet geschikt is om een verwachting van ongevallen op een bepaalde weg te geven, als functie van een verandering van de etmaalintensiteit op die weg. De intensiteits-variabelen zijn immers vermoedelijk gecorreleerd met het veilig ontwerp van de weg. Wanneer de intensiteit op een weg verandert, verandert echter niet het ontwerp van die weg. Het model is daarom dus niet zuiver in staat aan te duiden hoe de ongevallenfrequentie naar verwachting verandert als gevolg van een verandering in intensiteit.

Een model op basis van het aangepaste CPM geeft wel een betere schatting van de ongevallenfrequentie voor GOW80-wegen van Drenthe en Gelderland dan het algemene CPM.

5.2.4. *Conclusies modelonderzoek*

De eerste conclusie luidt dat slechts een zeer beperkt deel van de GOW80-wegen is vormgegeven volgens de basiskenmerken uit de BKWO (*Basiskenmerken Wegontwerp*) en HWO (*Handboek Wegontwerp*). Uit een vergelijking van de basiskenmerken uit de BKWO met de SODBW (SWOV-onderzoeksdatabase wegkenmerken, zie *Tabel 5.9*) blijkt dat per kenmerk slechts een beperkt deel van de wegvakken volgens de basiskenmerken is vormgegeven. Het aandeel wegvakken dat volledig is vormgegeven volgens de minimale inrichting van de BKWO is nog geen 1% (*Tabel 5.11*).

De modelresultaten laten zien dat het mogelijk is om SPF's (Safety Performance Functions) te ontwikkelen van ernstige ongevallen op GOW80-wegen. Binnen dit onderzoek zijn twee (basis)modelvormen getoetst die beide een sterk significant betere schatting van de ongevallenfrequentie voor een weg opleveren dan wanneer wordt gerekend met ongevallen-gemiddelden of risicocijfers. Dit blijkt uit de likelihood ratio test en de parameterschattingen van de verschillende modellen.

Uit een vergelijking van twee groepen wegvakken met verschillend dwarsprofiel , blijkt de aangepaste CPM-modelvorm de data beter te beschrijven dan de algemene CPM-modelvorm. Omdat deze alternatieve modelvorm ook in de regio Haaglanden voor dit wegtype een positief resultaat opleverde, lijkt het hier om meer dan alleen een regionaal fenomeen te gaan.

Verder is de modelkalibratie van deze modellen onderbouwd met significante parameterschattingen, LRT's en een vergelijking met andere Nederlandse CPM's.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om aan de hand van dit soort modellen de verkeersveiligheidseffecten van afwijkingen van een standaard dwarsprofiel inzichtelijk te kunnen maken. Daarvoor diende een SPF voor een referentie- of standaarddwarsprofiel te worden ontwikkeld. Dit is binnen dit onderzoek niet gelukt. Door beperkingen in de beschikbaarheid van data van wegkenmerken kon dergelijk onderscheidend vermogen nog niet aan de modellen worden toegevoegd.

Eerder onderzoek door Van Petegem (2012) heeft aangetoond dat onderzoek naar specifieke doeleinden van de ontwikkeling van CPM's, zoals de effecten van krappe obstakelvrije zones op bermongevallen, een andere interessante benadering vormt. Deze benadering kan tevens worden gebruikt voor de ontwikkeling van CMF's (Crash Modification Factors) bij een SPF van een standaarddwarsprofiel.

De resultaten van dit modelonderzoek laten dus zien dat de omvang van de huidige database onvoldoende is voor het ontwikkelen van een SPF van een referentiedwarsprofiel dat volledig volgens de BKWO is vormgegeven. Er konden immers geen statistisch significante parameters van de SPF van SODBW1 worden geschat en de LRT testte niet statistisch significant. Dit geldt zowel voor de 'minimale' als de 'ideale inrichting' volgens de BKWO. Als gevolg daarvan zijn afwijkingen van dit profiel ook nog niet onderzocht.

Omdat binnen deze studie enkel gebruikgemaakt kon worden van de SODBW, kon nog geen referentieprofiel worden vastgesteld voor de Nederlandse praktijk. Wel is duidelijk geworden dat niet alle basiskenmerken hierin opgenomen kunnen worden, maar dat een selectie zal moeten worden gemaakt van criteria die het meest relevant zijn voor het beoordelen van het veiligheidsniveau van de weg.

Daarnaast is aan te raden om naast een SPF ook CPM's te ontwikkelen met wegkenmerken als modelvariabelen gespecificeerd. Zoals blijkt uit eerder onderzoek naar de ontwikkeling van CPM's, kunnen deze modellen direct inzicht geven in de relatie tussen het ongevalsrisico en een wegkenmerk. Tevens bieden deze modellen een basis voor de ontwikkeling van CMF's.

Om een doorontwikkeling van een SPF van een standaarddwarsprofiel, CMF's en andere CPM's mogelijk te maken is een uitbreiding van de onderzoeksdatabase noodzakelijk. De toename in de precisie van de parameterschattingen met toenemende omvang van de dataselectie, laat zien dat uitbreiding van de onderzoeksdatabase direct leidt tot betere modelkalibraties. Daarom is het wenselijk om opnieuw te kijken naar de mogelijkheden van de registratie van wegkenmerken. Hierin blijven wegbeheerders een sleutelrol houden, omdat zij de gegevens beheren van hun wegen.

6. Samenvatting bevindingen en algemene aanbevelingen

Dit onderzoek was gericht op veilige dwarsprofielen voor gebiedsontsluitingswegen (GOW) buiten de bebouwde kom (bubeko). Het onderzoek heeft zich beperkt tot de provinciale 80km/uur-wegen met de focus op de relatie tussen dwarsprofielelementen (individueel en in samenhang) en verkeersveiligheid. Het onderzoek bestond uit drie deelonderzoeken: 1) een (inter)nationale literatuurverkenning naar de relatie tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid; 2) een beschouwing van de ontwerp- en inrichtingspraktijk van GOW80-dwarsprofielen in Nederland; en 3) een praktijkonderzoek naar de relatie tussen ontwerpkenmerken en verkeersveiligheid op een aantal locaties in Nederland. Een belangrijk onderdeel hiervan was om zo mogelijk Crash Prediction Models (CPM's) voor dwarsprofielen van GOW80-wegen te ontwikkelen. Dergelijke modellen geven een kwantitatieve relatie tussen (dwarsprofiel)kenmerken, verkeersprestatie en ongevallen en kunnen gebruikt worden om de relatieve veiligheid van bestaande wegen in kaart te brengen en om in het ontwerpproces van het dwarsprofiel de verkeersveiligheidseffecten te beoordelen.
Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de bevindingen en aanbevelingen per deelonderzoek. Specifieke aanbevelingen op basis van deze bevindingen die kunnen worden opgenomen in het *Handboek Wegontwerp* (HWO) worden in *Hoofdstuk 7* geformuleerd.

6.1. Literatuuronderzoek

Aan de hand van literatuuronderzoek is de relatie tussen de verkeersveiligheid en het dwarsprofiel belicht. Hiertoe is bestaande wetenschappelijk kennis over verkeersveiligheidseffecten van elementen uit het dwarsprofiel verzameld. Overigens moet hierbij de kanttekening worden geplaatst dat de resultaten uit internationaal onderzoek niet altijd één-op-één toepasbaar zijn op de Nederlandse situatie. Deze kennis geeft vooral inzicht in het belang van de relaties en in de relevantie voor uiteindelijk goed onderbouwde ontwerprichtlijnen voor dwarsprofielen. Het literatuuronderzoek heeft de onderstaande bevindingen opgeleverd.

Rijbaanbreedte en -indeling

- Een profiel van 7,0 m verhardingsbreedte met smalle rij- en redresseerstroken heeft een 1,65 keer zo hoog ongevalsrisico als een 10m-profiel. Een 8,0m-profiel is 17% veiliger dan een 7,0m-profiel, maar is 37% minder veilig dan een 10m-profiel (VS).
- Een versmalling van de rijstrookbreedte van 3,5/3,6 m naar minder dan 3,0 m leidt tot een stijging van het aantal ongevallen/het ongevalsrisico van tussen de 50% (VS) en 60% (Australië).
- Smalle redresseerstroken zijn onveiliger dan brede stroken (>1 m is 33% veiliger dan <1 m).

Rijrichtingscheiding

- Een veel voorkomende variant in het buitenland is de 2x2-GOW. Amerikaans onderzoek geeft aan dat op wegen met een gesloten-verklaring en zonder erfaansluitingen, een middenbermverbreding van 3 m naar 6 m leidt tot 4% minder ongevallen (namelijk 14% minder

doorsteekongevallen). Indien de breedte wordt vergroot van 3 m naar 12 m kan het aantal ongevallen met 10% afnemen (het aantal doorsteek-ongevallen met 37%).
- Onderzoek in Nederland geeft aan dat een moeilijk overrijdbare scheiding leidt tot 17% minder snelheidsovertredingen en dat inhalen dan nauwelijks meer voorkomt.
- In Zweden heeft de grootschalige toepassing van 2+1-wegen met cable barriers geleid tot een afname van 80% van de dodelijke ongevallen en 50% van alle ernstige letselongevallen. Cable barriers worden aangebracht in een dubbele asmarkering van 1 á 1,5 m breed.
- In Nieuw-Zeeland en de VS worden 'flush medians' (te vergelijken met een zachte rijrichtingscheiding) toegepast met een minimale breedte van 1 m. In Nieuw-Zeeland is het aantal ongevallen op wegen waar de maatregel is toegepast met 19 procent gedaald (kop-staartbotsingen zijn met 66% gedaald en ongevallen waarbij voetgangers betrokken zijn met 30%; NZ Transport Agency, 2006). Onzeker is of dit wegen binnen of buiten de kom zijn, of juist alle wegen. Onderzoek in Amerika naar het gebruik van 'flush medians' op tweestrooks enkelbaanswegen geeft een verkeersveiligheidseffect van 44% minder ongevallen bij verkeers-intensiteiten onder 5.000 motorvoertuigen/etmaal en 52% bij intensiteiten boven de 5.000 motorvoertuigen/etmaal.

Berminrichting
- Uit internationaal onderzoek is af te leiden dat het onveiliger is voor weggebruikers naarmate de verharde redresseer- of vluchtruimte smaller is. Zo heeft een enkelbaansweg buiten de bebouwde kom met 60 cm redresseerruimte 7% meer ongevallen dan een weg met 1,8 m redresseerruimte.
- Het *Handboek Wegontwerp* (HWO) beveelt een obstakelvrije zone van minimaal 4,5 en gewenst 6,0 m aan op GOW80-wegen. Onderzoek uit de VS geeft aan dat een obstakelvrije zone van 5 m tot 22% veiliger is dan een zone van 1 m, en een zone van 9 m tot 44% veiliger dan 5 m.
- Amerikaans onderzoek geeft aan dat steile taluds (1:3) 35% minder veilig zijn dan flauwe taluds (1:7) en dat het aantal enkelvoudige ongevallen met 26% afneemt bij flauwe taluds.
- Recent onderzoek naar bermongevallen toont het volgende:
  - Wegvakken met een obstakel binnen een afstand van 2 meter zijn 1,5 keer zo onveilig als andere wegvakken.
  - Een bermbeveiliging vergroot de veiligheid aanzienlijk voor wegen met een krappe obstakelvrije zone: schattingen duiden op de helft minder enkelvoudige letselongevallen bij aanwezigheid van bermbeveiliging.
  - Op sterk bochtige wegen is de ongevallenfrequentie ongeveer drie keer zo hoog als op rechte wegen.
  - Ook matig bochtige wegen zijn onveiliger dan min of meer rechte wegen. Schattingen duiden op 20% meer ongevallen bij matige bochtigheid (indicatief verband, significant op 90%).

Ten slotte is het belangrijk te beseffen dat de verkeersveiligheid niet afhangt van één enkel dwarsprofielelement, maar juist van de samenstelling van de elementen in één profiel.

6.2. Ontwikkeling op 80km/uur-wegen

Dit deelonderzoek heeft zich gericht op de ontwikkelingen in ontwerp en inrichting van 80km/uur-wegen in de praktijk: op de ontwikkeling van het areaal aan dit soort wegen, en op de ontwikkeling van het aantal ongevallen dat hierop plaatsvond.

- Het areaal aan 80km/uur-wegen is sterk gekrompen van 63.000 km in 1998 tot 25.500 km in 2009. Dit komt doordat 80km/uur-wegen in beheer van gemeenten en waterschappen zijn getransformeerd naar voornamelijk 60km/uur-wegen (vaak ETW's).
- Het gemiddelde aantal geregistreerde letselongevallen in de periode 2000-2009 laat zien dat meeste dodelijke ongevallen (40%) plaatsvinden op 80km/uur-wegen. Ruim 46% hiervan gebeurt op gemeentelijke en 43% gebeurt op provinciale wegen (waarvan de meeste provinciale wegen met een limiet van 80 km/uur een GOW80 zijn).
- Het areaal aan 80km/uur-wegen is in de periode 2003 tot 2008 gehalveerd, terwijl het areaal aan 60km/uur-wegen is verdrievoudigd. Dit is niet eenduidig terug te zien in het gemiddeld aantal ernstige verkeersongevallen. Het overgrote deel van de getransformeerde wegen betrof wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen. Uit een vergelijk van provinciale wegen en wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen kunnen twee conclusies worden getrokken:
  - Het overgebleven areaal van 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen is relatief onveilig. In deze periode is het aantal dodelijke ongevallen op provinciale 80km/uur-wegen met 33% gedaald. Op de 80km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen was die daling in dezelfde periode 54%. Dit is een trendverschil van slechts 20%. Dit terwijl het areaal 80km/uur-wegen van gemeenten en waterschappen in die periode ongeveer is gehalveerd en het areaal van 80km/uur-wegen van de provincies ongeveer is gelijk gebleven.
  - De transformatie van 80km/uur wegen naar 60km/uur-wegen heeft bijgedragen aan de daling van het aantal ongevallen op wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen. De daling van het aantal dodelijke ongevallen op provinciale 80km/uur-wegen bedroeg 33%. Op 80km/uur- en 60km/uur-wegen onder beheer van gemeenten en waterschappen bedroeg deze daling 37%. Dit trendverschil wordt toegeschreven aan de transformaties van 80km/uur wegen naar 60km/uur-wegen.
- Uit twee dieptestudies naar bermongevallen blijkt dat verschillende 'ongevalsfactoren' bijdragen aan het ontstaan van het ongeval en de ernst van het letsel. Ongevalsfactoren die met het wegontwerp en/of de weginrichting samenhangen, zijn:
  - te smalle obstakelvrije zone (41-52% van de gevallen);
  - te steile taluds (22-37% van de gevallen);
  - te krappe bocht/bochtstraal en/of slechte vooraankondiging van de bocht (11-20% van de gevallen);
  - ontbrekende semi-verharding (8-26% van de gevallen);
  - te smalle redresseer- en/of rijstrook (10-26% van de gevallen).
- Veel 60- en 80km/uur-wegen zijn als 'grijze weg' bestempeld, wat betekent dat ze niet eenduidig zijn ingericht volgens de Duurzaam Veilig-categorisering van wegen (stroomwegen – gebiedsontsluitingswegen – erftoegangswegen). Dit zijn bijvoorbeeld 80km/uur-wegen met een

belangrijke verkeersfunctie, maar ook met erfaansluitingen, zonder een geslotenverklaring, zonder een inhaalverbod en zonder parallelwegen (of mogelijkheid om deze aan te leggen). Ook zijn dit 60km/uur-wegen met de vormgeving en inrichting van een 80km/uur-weg.
- Het is niet bekend hoeveel lengte aan grijze wegen (80 of 60 km/uur) er in Nederland ligt of in hoeverre het bestaande 60- en 80km/uur-wegennetwerk voldoet aan de eisen van Duurzaam Veilig. Slechts een derde van het huidige areaal aan 80km/uur-wegen had een gesloten-verklaring en veel wegen hebben niets meer dan een onderbroken asstreep om de rijrichtingen te scheiden.
- In 2012 zijn de provinciale wegen van Overijssel en Gelderland beoordeeld volgens de Road Protection Score. Deze beoordeling wordt uitgedrukt in een aantal sterren: hoe meer sterren een weg heeft, des te kleiner de kans op een ongeval met een negatieve afloop. 61% van de provinciale wegen in Gelderland en 75% van de provinciale wegen in Overijssel blijken twee sterren te scoren (op een maximum van vijf sterren). Daarnaast scoren 4% in Gelderland en 7% in Overijssel slechts één ster.

6.3. Praktijkonderzoek

Binnen het praktijkonderzoek is gedragsonderzoek en modelonderzoek uitgevoerd. Met het gedragsonderzoek is getracht inzicht te verkrijgen in het verkeersgedrag op wegen met de meest voorkomende combinaties van dwarsprofielelementen. Met het modelonderzoek is getracht voor een referentieontwerp van het dwarsprofiel een basismodel te ontwikkelen, dat een kwantitatieve relatie beschrijft tussen verkeersintensiteit en ongevallen op wegen met dat dwarsprofiel.

Gedragsonderzoek
Het gedragsonderzoek is uitgevoerd op een selectie van dwarsprofielen die in vier min of meer homogene groepen is ingedeeld:
1. oude stijl GOW met enkele onderbroken as- en kantmarkering;
2. oude stijl GOW met enkele onderbroken as- en doorgetrokken kantmarkering;
3. nieuwe stijl GOW met dubbele onderbroken as- en kantmarkering;
4. nieuwe stijl GOW met dubbele doorgetrokken as- en onderbroken kantmarkering.

Op elke locatie zijn tellingen verricht, zijn de laterale posities ten opzichte van het midden van de rijstrook (links, midden, rechts), en zijn de kant- en as-overschrijdingen van motorvoertuigen geobserveerd.

Op basis van een chi-kwadraattoets is geconstateerd dat er geen verschillen in laterale positie en as- en kantoverschrijdingen zijn tussen verkeer in de spits en verkeer op de rest van de dag. Wel zijn er statistisch significante verschillen geconstateerd in het gedrag op de vier bovengenoemde groepen wegen (dwarsprofielen). Doordat deze groepen wegen op meer dan één punt van elkaar verschillen (niet alleen in as- en katmarkering), is de oorzaak van het verschil in gedrag niet goed vast te stellen. Wel zijn er aanwijzingen te geven.

Zo is het percentage auto's dat op de wegen van groep 3 een laterale positie rechts op de rijstrook aanhoudt, beduidend hoger dan op de wegen van groep

4. Dit is opvallend, aangezien de obstakelafstand in groep 3 kleiner blijkt te zijn dan in groep 4 en de rijstrookbreedte in beide gevallen ongeveer gelijk is. Op basis van de andere kenmerken zou een verklaring van dit verschil in positie de bredere asmarkering van groep 4 (grotere afstand tot tegemoetkomend verkeer) en de bredere redresseerstrook van groep 3 kunnen zijn.

Het grotere aandeel auto's dat op de wegen van groep 2 een laterale positie links op de rijstrook kiest in vergelijking met groep 1, is mogelijk te verklaren door de krappe obstakelvrije zone aan één zijde. Een andere mogelijkheid is dat dit het gevolg is van een relatief brede rijstrook in groep 2 en het ontbreken van een inhaalverbod, waardoor relatief vaak links van het midden wordt gereden.

Wanneer groep 1 met groep 3 en groep 4 wordt vergeleken, dan is te zien dat men in groep 3 en 4 met eenzelfde rijstrookbreedte relatief vaker links van het midden rijdt dan in groep 1. Gezien de lagere intensiteiten, de vergelijkbare rijstrookbreedte, de krappere redresseerstrookbreedte en de krappere obstakelvrije zone van groep 1, is dit vermoedelijk het gevolg van de bredere rijrichtingscheiding van groep 3 en 4 (en dus een grotere afstand tot de tegenligger).

Modelonderzoek
Binnen het modelonderzoek is getracht een Safety Performance Function (SPF) voor een referentieprofiel, een standaarddwarsprofiel, te ontwikkelen. Dit model zou een kwantitatieve relatie moeten beschrijven tussen verkeers-intensiteit en ongevallenfrequentie op wegen met dat referentieprofiel. Ook zou dit model de verkeersveiligheidseffecten van afwijkingen van dit referentieprofiel inzichtelijk moeten kunnen maken.

In de praktijk voldoen de (samengestelde) dwarsprofielen echter maar beperkt aan de richtlijnen waaruit het referentiemodel dient te worden opgebouwd. Als gevolg daarvan kon er geen SPF van een standaarddwarsprofiel worden ontwikkeld. Wel is een basis-SPF ontwikkeld voor wegen met een minimale obstakelvrije zone van 4,5 meter.

Wat het modelonderzoek heeft aangetoond is dat een model van de volgende vorm het verband tussen intensiteit en ongevallenfrequentie op GOW80–wegen beter weergeeft dan de standaardvorm van de modellen die in de literatuur beschreven staan:

Vergelijking 6-1 Aangepaste SPF $$E(\lambda) = \alpha Q^{\beta_q} e^{\frac{Q}{1000}\beta_{qf}}$$

Waar:
E(λ) = het verwachte aantal ongevallen op een wegdeel in een bepaalde periode.
Q = etmaalintensiteit
β;α = te schatten parameters

Omdat slechts weinig profielen aan de richtlijnen voldoen kon met de beschikking over enkel de SWOV-onderzoeksdatabase Wegkenmerken nog geen referentieprofiel worden vastgesteld vanwege onvoldoende data. . Wel is duidelijk geworden dat in de nabije toekomst niet alle basiskenmerken in

deze database opgenomen kunnen worden, maar dat een selectie zal moeten worden gemaakt van criteria die het meest relevant zijn voor het veiligheidsniveau van de weg en de beoordeling daarvan met behulp van een SPF. De ontwikkeling van een SPF voor een referentiemodel op basis van een selectie van basiskenmerken vraagt om een uitbreiding van de onderzoeksdatabase. Het is daarom aan te bevelen om goed te kijken naar mogelijkheden voor nieuwe inventarisaties. Aangezien wegbeheerders de gegevens van hun wegen beheren, blijven zij een sleutelrol houden.

Daarnaast is aan te raden om naast een SPF ook CPM's te ontwikkelen met wegkenmerken als modelvariabelen gespecificeerd. Zoals blijkt uit eerder onderzoek naar de ontwikkeling van CPM's, kunnen deze modellen direct inzicht geven in de relatie tussen het ongevalsrisico en een wegkenmerk. Tevens bieden deze modellen een basis voor de ontwikkeling van CMF's.

Aanbevolen wordt om het modelonderzoek met de hierboven beschreven stappen voort te zetten: uitbreiden van de onderzoeksdatabase en model-ontwikkeling van zowel SPF's als uitgebreidere CPM's.

7. Specifieke aanbeveling voor een verkeersveilig dwarsprofiel voor 1x2-GOW80

De specifieke aanbevelingen die in dit rapportonderdeel worden besproken, dienen ter aanvulling van het *Handboek Wegontwerp* (HWO)*,* hoofdstuk *Dwarsprofiel*. Per onderdeel van het dwarsprofiel wordt een aanbeveling gedaan voor de maatvoering. Deze is gebaseerd op de resultaten van (inter)nationaal onderzoek naar de relaties tussen onderdelen van het dwarsprofiel en verkeersveiligheid. Er wordt rekening gehouden met de huidige praktijk en de ontwikkelingen als gevolg van de *Basiskenmerken Wegontwerp* (BKWO) en met de vertaalslag hiervan naar harde ontwerpeisen, die het CROW momenteel uitvoert.

Uitgangspunt bij deze aanbevelingen is dat er één standaardmaatvoering wordt aanbevolen plus een voorkeursvariant voor een ruimer profiel. De standaardmaatvoering is meestal gelijk aan de zogeheten normale/ideale maatvoering in het HWO en de BKWO; de voorkeursvariant is dus *ruimer* en veiliger. Er is bewust gekozen om niet met ideale en *minimum*varianten te werken. Argumenten hiervoor zijn dat de Nederlandse maatvoering al onder de internationale normen ligt en dat de verkeersveiligheid niet wordt bevorderd door de mogelijkheid om een minimumvariant te ontwerpen. Indien lokale omstandigheden het standaardprofiel niet toelaten mag de ontwerper gemotiveerd afwijken. De ontwerper dient daarbij een verwachting te schetsen van de consequenties van deze afwijking voor de verkeers-veiligheid, inclusief compenserende maatregelen om negatieve verkeers-veiligheidseffecten zo veel mogelijk te beperken. Dit hoofdstuk biedt de ontwerper de beschikbare verkeersveiligheidskennis om de consequenties op de verkeersveiligheid van afwijkingen van het standaardprofiel te kunnen inschatten.

7.1. Verkeersveiligheidsoverwegingen

De enkelbaans gebiedsontsluitingswegen met een limiet van 80 km/uur behoren tot de onveiligste wegen in Nederland. Dit heeft te maken met een combinatie van factoren, waaronder het ontwerp en de ruimtelijke inpassing van deze wegen. De keuze voor zowel standaard- als minimum-dwarsprofielen in de BKWO, speelt een rol bij de huidige en toekomstige onveiligheid op deze wegen. Hoewel Duurzaam Veilig (DV) pleit voor fysieke scheiding van rijrichtingen, inhaalverbod, (ruime) obstakelvrije zones en andere eisen aan het dwarsprofiel, voldoen de meeste GOW80-wegen hier niet aan. Ruimte- en geldgebrek zijn daarvoor de argumenten. De ontwerp-richtlijn (HWO) biedt de gelegenheid om nieuwe wegen te ontwerpen met een dwarsprofiel met minimale maatvoering, terwijl bekend is dat zelfs de standaarduitvoering van een 1x2-weg niet volledig duurzaam veilig is, en ten opzichte van het ideale profiel (2x1) extra risico's met zich meebrengt. Helaas zijn er momenteel nog onvoldoende gegevens over wegkenmerken en ongevallen beschikbaar om onderzoek te kunnen doen naar alle relaties tussen dwarsprofielkenmerken en veiligheid. Wel is uit dit onderzoek duidelijk geworden dat, vanuit een verkeersveiligheidsperspectief, het ontwerp van het GOW80-dwarsprofiel op veel punten verbeterd kan worden.

De praktijk leert dat GOW80-wegen met een smalle rijbanen met smalle rij- en redresseerstroken in principe goed functioneren wat de doorstroming van verkeer betreft. Daarom worden deze ook grootschalig toegepast. Negatieve verkeersveiligheidseffecten lijken daarbij te worden geaccepteerd, met andere woorden het huidig ongevalsrisicoprofiel van GOW's is het uitgangspunt. Bovendien zijn verdere concessies aan bijvoorbeeld het dwarsprofiel niet uitgesloten. Dit is zichtbaar in de Richtlijn EHK en het HWO, waarin verscheidene versoberingsmogelijkheden worden aangedragen, zonder de effecten op de verkeersveiligheid in beeld te brengen. In de huidige praktijk speelt dus eerder de vraag in welke mate een lager verkeersveiligheidsniveau van sober uitgevoerde dwarsprofielen nog acceptabel is, in plaats van of misschien een hoger verkeersveiligheidsniveau kan worden geboden door verruiming van het dwarsprofiel.

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de dwarsprofielen in Nederland tot de smalste ter wereld behoren. De vraag is daarom of het verantwoord is om mogelijkheden tot versobering voor te schrijven in de richtlijnen ten opzichte van het standaarddwarsprofiel. De ervaringen in het buitenland en in Nederland leren immers dat smalle profielen minder veilig zijn en dat het rijgedrag meer geforceerd is (meer inspanning vergt en minder bewegingsruimte geeft). Is het dan niet beter om vanuit de ontwerprichtlijnen te streven naar een dwarsprofiel dat voldoet aan de eisen van DV, met aanwijzingen voor verruiming van het profiel voor verdere optimalisatie van de verkeersveiligheid? Vanuit verkeersveiligheidsperspectief dient in dat geval het standaardprofiel als uitgangspunt en een ruimer profiel als voorkeursvariant. Uit eerder SWOV-studie is gebleken dat een dwarsprofiel volgens DV kosteneffectief is. Op langere termijn zullen wegen met een duurzaam veilig dwarsprofiel de samenleving meer baten opleveren dan kosten.
Vanuit dit onderzoek wordt dan ook aanbevolen om dit standaarddwarsprofiel verplicht te stellen voor nieuwe wegen, met als aanbeveling een voorkeursdwarsprofiel voor verdere verbetering van de verkeersveiligheid. De aanbevelingen hiervoor staan beschreven in *Paragraaf 7.2 t/m 7.6*.

Op bestaande wegen zal dit standaardprofiel echter niet eenvoudig te realiseren zijn. Toch wordt ook voor bestaande wegen aanbevolen deze zo veel mogelijk te transformeren naar in eerste instantie het standaard- en uiteindelijk het voorkeursdwarsprofiel zoals voorgesteld. Daar waar niet kan worden voldaan aan het standaardprofiel, wordt gevraagd om een inschatting te geven van de negatieve verkeersveiligheidseffecten hiervan en een pakket van 'mitigerende' maatregelen door te voeren. De SWOV zou willen aanraden dat het CROW mitigerende maatregelen aanreikt voor situaties waarin het standaarddwarsprofiel niet (direct) kan worden gerealiseerd.

7.2. Verharding

De verharding bestaat uit de rijbaan, rijstroken, de redresseerstroken en de rijrichtingscheiding. Naast de maatvoering van deze onderdelen van de verharding is ook de verkanting een belangrijk ontwerpelement van de verharding.

De verharding van een standaard 1x2-dwarsprofiel van een GOW80 is 7,50 m breed. Het feit dat deze wegen de onveiligste wegen zijn en dat deze breedte minder is dan internationaal gebruikelijk, pleit voor verruiming van

het profiel. Hierdoor is er meer ruimte in de breedte om te kunnen veteren en redresseren. In principe zouden op dit soort wegen geen frontale ontmoetingen mogelijk moeten zijn en om dit te faciliteren zou de verhardingsbreedte minimaal 8,5 m moeten bedragen (bij voorkeur 9,5m).

Aanbeveling:
Standaard verhardingsbreedte = 8,5 m
Voorkeursvariant = 9,5 m

Verkeersveiligheidseffect
Afhankelijk van rij- en redresseerstrookbreedte, levert een verbreding van de verharding van 7,5 tot 9,5 m tussen 1 en 4% minder ongevallen op. Brede rijstroken en smalle redresseerstroken zijn veiliger dan smalle rijstroken en brede redresseerstroken.

7.2.1. *Rijstroken*

De rijstroken op 1x2-GOW80 in Nederland zijn met een breedte van 2,75 m ongeveer de smalste ter wereld. Gegeven de breedte van een vrachtauto en het benodigde profiel van vrije ruimte, zou men zelfs kunnen beargumenteren dat dit onverantwoord is. Dit is vooral daar het geval waar geen fysieke rijrichtingscheiding is aangebracht, geen (verharde) vlucht- en bergingszone aanwezig is, en waar obstakels vaak binnen de obstakelvrije zone te vinden zijn. Het feit dat deze wegen dan ook de onveiligste wegen zijn in Nederland kan voor een deel worden verklaard door de krappe maatvoering van de standaard rijstrookbreedte, die in combinatie met een krappe rijrichtingscheiding en krappe redresseerstroken tot gevaarlijke situaties kan leiden.

Aanbeveling:
Standaard rijstrookbreedte = 2,75 m
Voorkeursvariant = 3,3 m

Verkeersveiligheidseffect
Amerikaans onderzoek geeft aan dat het aantal ongevallen toeneemt naarmate de rijstrook versmalt, hoewel de snelheid afneemt. Bij verkeersintensiteiten boven de 2.000 voertuigen/etmaal neemt het aantal ongevallen exponentieel toe naarmate de rijstrookbreedte smaller wordt. Vergeleken met een rijstrookbreedte van 3,6 m (standaard in veel westerse landen) levert een versmalling naar 3,3 m, 3,0 m en 2,7 m respectievelijk 5%, 30% en 50% meer ongevallen op. . Dit kan te maken hebben met de grotere voertuigen daar, maar het blijft een aanwijzing dat er voldoende breedte moet zijn om conflicten te verminderen.

7.2.2. *Redresseerstroken*

De redresseerstrook is zowel deel van de verharding als van de vlucht- en bergingszone die deel uitmaakt van de berm (zie *Paragraaf 7.3*). De redresseerstrook is vergelijkbaar met de Engelse term ‘narrow paved shoulder’. Redresseerstroken op 1x2-GOW80-wegen in Nederland behoren tot de smalste ter wereld; de meeste landen passen breedtes van meer dan 1 m toe. De redresseerstrook heeft twee functies: voertuigen ruimte geven om te corrigeren en de berm naast de verharding beschermen. Zoals in het begin van deze *Paragraaf 7.2* is genoemd, heeft een smalle redresseer-

strook in combinatie met een brede rijstrook de voorkeur boven een brede redresseerstrook en smalle rijstrook.

Aanbeveling:
Standaard redresseerstrook = 30 cm (exclusief markering)
Voorkeursvariant = 60 cm (exclusief markering)

Verkeersveiligheidseffect
Als uitsluitend wordt gekeken naar het effect van de breedte van de redresseerstrook op enkelvoudige, frontale en flankongevallen, dan leidt een smalle redresseerstrook tot meer ongevallen. Bij intensiteiten boven de 2.000 voertuigen/etmaal is een vlucht-/redresseerstrook van 1,8 m breed 15% veiliger dan een strook van 1,2 m, en 30% veiliger dan een strook van 60 cm. Een kanttekening hierbij is dat de breedtes van de rijstrook, redresseerstrook en bergings- of vluchtruimte niet alleen allemaal afzonderlijk invloed hebben op het ongevallenbeeld, maar ook onderling samenhangen. Deze elementen dienen daarom eigenlijk in samenhang te worden beoordeeld.

7.3. Vlucht- en bergingszone

De vlucht- en bergingszone is de veiligheidszone direct aanliggend aan de weg en biedt bestuurders van voertuigen die onbedoeld van de weg raken de kans om te corrigeren. Ook biedt de vlucht- en bergingszone de gelegenheid om het voertuig veilig naast de weg te parkeren in geval van pech of andere incidenten. In Nederland geldt dat er in deze ruimte geen onbeschermde objecten (tenzij botsveilige) of continue objecten mogen worden geplaatst. Volgens het HWO dient de breedte van de bergingszone minimaal 2,4 m te bedragen (gemeten van de binnenkant van de kantstreep). Dit onderzoek heeft aangetoond dat er veel wegen zijn waar zich objecten (bomen en dergelijke) binnen deze ruimte bevinden.
In het buitenland is het gebruikelijk om een deel van de vlucht- en bergingszone te verharden, met een deel van de ruimte als onderdeel van de verharding (in de vorm van een redresseerstrook of een vluchtstrook) en de restruimte onderdeel van een semi-verharde berm of ten minste een draagkrachtige berm. In Nederland is aanbevolen de berm met semi-verharding aan te leggen of draagkrachtig te maken, maar dit gebeurt lang niet altijd.

Aanbeveling:
Standaard vlucht- en bergingszone = 2,4 m
(bestaande uit 15 cm kantstreep, 30 cm redresseerstrook, 60 cm semi-verharding, bijvoorbeeld grasbetontegels en 1,25 m draagkrachtige berm met minder dan 20 mm insporing).

Voorkeursvariant = 3,2 m
(15 cm kantstreep, 60 cm redresseerstrook, 1,0 m semi-verharding en 1,45 m draagkrachtige berm)

Verkeersveiligheidseffect
Samen vormen bermongevallen en frontale ongevallen 70% van alle dodelijke en 61% van alle letselongevallen op GOW80-wegen. Veel van de frontale ongevallen worden veroorzaakt door in de berm geraakte voertuigen die vervolgens overcorrigeren en op de verkeerde rijstrook belanden. Te smalle obstakelvrije zones en ontbrekende semi-verharding (zachte bermen)

spelen hierbij een belangrijke rol. Onderzoek in de VS en Europa heeft aangetoond dat wegen zonder verharde redresseer- of vluchtstrook 50% meer bermongevallen hebben.

Als uitsluitend wordt gekeken naar het effect van de breedte van de redresseerstrook op enkelvoudige, frontale en flankongevallen, dan leidt een smalle redresseerstrook tot meer ongevallen. Bij intensiteiten boven de 2.000 voertuigen/etmaal is een vlucht-/redresseerstrook van 1,8 m breed 15% veiliger dan een strook van 1,2 m en 30% veiliger dan een strook van 60 cm. Een kanttekening hierbij is dat de breedtes van de rijstrook, redresseerstrook en vlucht- en bergingszone niet alleen allemaal afzonderlijk invloed hebben op het ongevallenbeeld, maar ook onderling samenhangen. Deze elementen dienen daarom eigenlijk in samenhang te worden beoordeeld. De effecten van alleen het semi-verharden of draagkrachtig maken van de berm zullen waarschijnlijk kleiner zijn dan de bovengenoemde effecten van een verharde vluchtstrook (brede redresseerstrook). Omdat de effecten van semi-verharding of draagkrachtig maken niet bekend zijn, is gericht nader onderzoek nodig.

7.3.1. *Bermverharding*

Binnen de vlucht- en bergingszone dient de berm minstens draagkrachtig te zijn, maar bij voorkeur volledig te zijn uitgevoerd met een semi-verharding. Met draagkrachtig wordt bedoeld dat voertuigen niet meer dan 20 mm mogen insporen (CROW, 2012b).

7.3.2. *Objecten en objectafstand*

Binnen de vlucht- en bergingszone mogen in principe geen objecten worden geplaatst. Indien er wel een object is, mag dit geen continu object zijn en moet het object botsveilig zijn uitgevoerd conform de NEN-EN 12676-norm.

Aanbeveling:
Standaard objectafstand = geen objecten van welke aard dan ook binnen 1 m van de binnenkant van de kantstreep (gegeven het profiel van vrije ruimte van 3,3 m voor vrachtauto's) bij uitzondering solitaire botsveilig uitgevoerde objecten binnen de 2,4 m vlucht- en bergingszone.

Voorkeursvariant = geen objecten binnen 2 m van de kantstreep en enkel solitaire botsveilige objecten binnen de 3,2 m vlucht- en bergingszone

Verkeersveiligheidseffecten:
Het verplaatsen van een hoge dichtheid aan lichtmasten (40/km) van 1,5 m naar 3,0 m van de kant van de verharding, en bij verkeersintensiteiten van meer dan 10.000 voertuigen per etmaal, kan leiden tot 33% minder ongevallen met deze objecten.

7.4. **Rijrichtingscheiding**

7.4.1. *Fysieke (harde) rijrichtingscheiding*

Vanuit Duurzaam Veilig is het gewenst om de rijrichtingen GOW80-wegen fysiek te scheiden om frontale conflicten uit te sluiten. In Nederland is het

niet gelukt om dit op wegen met één rijstrook per rijrichting als standaardkenmerk door te voeren Een aantal redenen hiervoor is:

- Er is beperkte ruimte in de as om deze scheiding te realiseren.
- Er zijn te veel aansluitingen langs een wegvak.
- Wegvakken zijn relatief kort (kruispuntdichtheid is hoog).
- Er is onvoldoende breedte voor een breder dwarsprofiel (gegeven de eisen voor de obstakelvrije ruimte).
- Er is geen parallelvoorziening om landbouwverkeer af te wikkelen.
- Harde rijrichtingscheiding veroorzaakt veel problemen bij afzetting (vanwege werkzaamheden aan de weg of incidenten).

Door bovenstaande beperkingen zijn er drie situaties waarmee in de praktijk rekening moet worden gehouden:

- wegen met landbouwverkeer (gedeeltelijke geslotenverklaring) waar inhalen wordt toegestaan;
- wegen met een geslotenverklaring met een hoge dichtheid van aansluitingen/kruispunten;
- wegen met een geslotenverklaring en een lage dichtheid van aansluitingen/kruispunten

Aanbevelingen:
Standaard rijrichtingscheiding = dubbele asstreep met 80 cm tussenruimte; asstreep is doorgetrokken of onderbroken, afhankelijk van inhaalverbod.

Voorkeursvariant = dubbel doorgetrokken asstreep met 1,1 m tussenruimte (met cable barrier of soortgelijk, conform NEN1317 N2W4)

Verkeersveiligheidseffect
Het aanbrengen van een fysieke rijrichtingscheiding (in de vorm van cable barriers) op 1x2-wegen kan het totaal aantal dodelijke ongevallen met 80% doen afnemen en het totaal aantal ernstige letselongevallen met 50%. Het aanbrengen van een dubbel doorgetrokken asmarkering met 1,0 m tussenruimte (in het buitenland ook wel ‘flush median’ genoemd) kan het totaal aantal ongevallen met 19% laten dalen. Onderzoek in Nederland geeft aan dat een moeilijk overrijdbare scheiding leidt tot 17% minder snelheidsovertredingen en dat inhalen nauwelijks voorkomt.

7.4.2. *Zachte rijrichtingscheiding*

Vanwege veronderstelde problemen met wegwerkzaamheden en aanrijden van hulpdiensten, wordt op Nederlandse 1x2-GOW80-wegen in de praktijk meestal geen harde rijrijrichtingscheiding toegepast, ofschoon dit wel een DV-eis is. Gebruikelijk is een dubbel (doorgetrokken of onderbroken) asstreep met 80-110 cm tussenruimte. Op GOW80-wegen zonder parallelvoorzieningen wordt landbouwverkeer toegestaan (gedeeltelijke geslotenverklaring) en mogen deze worden ingehaald.

Door het ontbreken van een harde scheiding zijn frontale ongevallen niet uitgesloten. Frontale ongevallen en ongevallen met vaste voorwerpen in de berm veroorzaken het ernstigste letsel en zijn in veel gevallen te vermijden. Ten minste zou de letselernst kunnen worden beperkt.

Aanbeveling:
Standaard rijrichtingscheiding = 80 cm
Voorkeursvariant = 1,1 m met flexibele rijrichtingscheiding (bijvoorbeeld cable barrier)

Verkeersveiligheidseffect
In Nieuw-Zeeland past men 'flush medians' toe: markering met 1 m tussenruimte en dus vergelijkbaar met de Nederlandse zachte rijrichtingscheiding. Het aantal ongevallen in Nieuw-Zeeland is daardoor met circa 19% gedaald. In de VS worden bredere flush medians (1,5-2,0 m) toegepast en is het effect nog groter: afhankelijk van intensiteit, tussen de 44 en 52% minder ongevallen). De resultaten van het VS-onderzoek dienen met voorzichtigheid te worden toegepast, omdat deze tevens betrekking hebben op 'turning lanes' (de flush median wordt gebruikt voor het afslaan van en het oprijden op de hoofdrijbaan) en omdat de bron een verzamelwerk van de resultaten van verkeersveiligheidsstudies betreft. Het achterliggend onderzoek uit de VS kon niet worden achterhaald.
Meta-analyses tonen aan dat het aanbrengen van een harde rijrichtingscheiding (in de vorm van een betonnen barrier) frontale ongevallen voorkomt maar tot meer ongevallen leidt (als gevolg van aanrijdingen met de barrier). In landen waar een flexibele vorm van rijrichtingscheiding wordt toegepast (namelijk de cable barrier in onder andere Zweden) is gerapporteerd dat het aantal dodelijke ongevallen met 80% is afgenomen op de wegen met deze flexibele rijrichtingscheiding; het aantal ongevallen met ernstig letsel is met 50% afgenomen.

7.5. Obstakelvrije zone

De obstakelvrije zone is de totale ruimte naast de verharding waarbinnen geen (onafgeschermd) obstakel/object, sloot en talud voorkomt (tenzij botsveilig vormgegeven). De vlucht- en bergingszone en de redresseerstrook maken daarvan deel uit.
De breedte en inrichting van de obstakelvrije zone, en dan met name de restruimte naast de vlucht- en bergingszone (ook wel de buitenberm genoemd), kan een groot effect hebben op de ongevalskans van voertuigen die van de weg raken, maar ook op de letselernst van de inzittenden. Het doel van de obstakelvrije zone is om bestuurders van de weg geraakte voertuigen de kans te bieden om het voertuig onder controle (of tot een stop) te brengen, zonder risico op letsel als gevolg van een aanrijding met objecten of obstakels.
De Nederlandse praktijk leert dat er nauwelijks 1x2-GOW80-wegen zijn die voldoende obstakelvrije ruimte bieden. Gemiddeld gezien hebben de meeste wegvakken obstakels binnen de aanbevolen 6,0 m, tot zelfs binnen de 2,0 m (40%). Gemiddeld gezien wordt een obstakelvrije zone van ca. 3,0 m gehanteerd.

Aanbeveling:
Standaard obstakelvrije zone = 4,5 - 6 m
Voorkeursvariant = 6 m

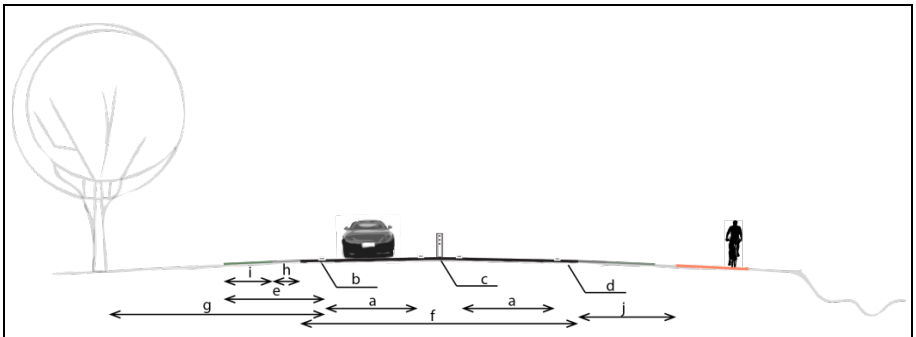
Verkeersveiligheidseffecten
Nederlands modelonderzoek heeft aangetoond dat een (smalle) obstakelvrije zone van 2,0 m leidt tot een 50% hoger ongevalsrisico dan wegen met een ruime obstakelvrije zone. Buitenlands onderzoek geeft aan dat op 80km/uur-

wegen tussen de 80-90% van alle van de weg geraakte bestuurders hun voertuig binnen 10 m (van de kant verharding) veilig tot stilstand kunnen brengen (ervan uitgaande dat er geen objecten staan). Een verbreding van de obstakelvrije zone van 3,5 m naar 4,5 m leidt tot een 9% lager ongevalsrisico. Een verbreding van 4,5 naar 6,0 m leidt tot 13% lager risico.

7.6. Het dwarsprofiel als geheel

Op basis van de bovengenoemde aanbevelingen ontstaan in principe twee dwarsprofielen die zowel aansluiten bij de huidige praktijk als bij de Duurzaam Veilig-eisen: het standaard- en het voorkeursprofiel. Deze dwarsprofielen doen geen concessies op het gebied van verkeersveiligheid en afwijkingen (naar beneden) worden niet aangeraden. Om vorm te geven aan de wens om de huidige verkeers(on)veiligheid van dit type wegen aan te pakken (zoals bijvoorbeeld aangegeven in het *Strategisch Plan Verkeers-veiligheid* van het ministerie van Infrastructuur en Milieu), wordt aanbevolen om dit type wegen zo veel mogelijk vorm te geven volgens ten minste het voorgestelde standaardprofiel en bij voorkeur volgens het voorkeursprofiel. Vanwege de huidige beperkingen is fasering daarbij onontkoombaar, waarbij in ieder geval voor wegen met een hoge verkeersintensiteit het voorkeurs-profiel wordt aanbevolen. Tevens wordt vanwege het hoge aandeel grijze wegen aanbevolen om opnieuw naar de categorisering van wegen buiten de bebouwde kom te kijken. Wegen met een huidige snelheidslimiet van 80 km/uur die niet de functie van een gebiedsontsluitingsweg hebben en/of niet voldoen aan de functionele eisen gesteld aan een GOW80, zouden op basis daarvan kunnen worden afgewaardeerd naar een passende categorie en snelheidslimiet.

Aanbeveling:



Ontwerpelement dwarsprofiel	Voorkeursprofiel, maatvoering (m)	Standaardprofiel maatvoering (m)
a. Rijstrook	3,3	2,75
b. Wegmarkering (4x)	0,15	0,15
c. Rijrichtingscheiding	1,1 (met cable barrier)	0,8 (zonder cable barrier)
d. Redresseerstrook (2x)	0,6	0,3
e. Vlucht- en bergingszone	3,2	2,4
f. Verhardingsbreedte	9,5	7,5
g. Obstakelvrije zone	6,0	4,5

Afbeelding 7.1. *Profielschets en maatvoering van de voorkeursvariant en het standaarddwarsprofiel (maten van de rijstrook, redresseerstrook en rijrichtingscheiding zijn exclusief de markering).*

Op wegen van het standaarddwarsprofiel geldt een dubbele asmarkering, onderbroken of doorgetrokken naar gelang het soort geslotenverklaring (inhaalverbod).
Op wegen van de voorkeursvariant geldt een volledige geslotenverklaring, komen geen erfaansluitingen voor en is de dichtheid van aansluitingen/kruispunten laag.

Verkeersveiligheidseffecten
Op GOW80-wegen is het voorkomen van berm- en frontale ongevallen van primair belang. Daarvoor is een rijrichtingscheiding van minimaal 80 cm gewenst en bij voorkeur 1,1 m met cable barrier of andere vorm van fysieke rijrichtingscheiding. Het vergroten van de obstakelvrije zone naar ten minste 4,5 m moet prioriteit krijgen, omdat de obstakelvrije zone een essentieel element is in het voorkomen van ongevallen op deze wegen. In de huidige situatie zijn er veel wegen met een obstakelvrije zone van 2,0 m of minder. Nederlands onderzoek toont aan dat dit leidt tot 50% extra risico op een bermongeval. Daarnaast kan een verbreding van de rijstroken leiden tot ongeveer 10% minder ongevallen. Volgens bevindingen uit de VS heeft, bij een gelijkblijvende obstakelvrije zone, een weg met een verhardingsprofiel van 7 m een 1,65 keer zo hoog risico als een weg met een 10m-profiel en een weg met een 8,0m-profiel heeft 17% minder risico dan een 7m-profiel.

7.7. Gedwongen concessies en afwijkingen

Op een aantal bestaande wegen zal het standaarddwarsprofiel niet eenvoudig te realiseren zijn, maar onmogelijk is het vaak niet. Uit de SWOV-onderzoeksdatabase met wegkenmerken is gebleken dat ruim 40% van alle GOW80-wegen in het bestand voldoende obstakelvrije ruimte hebben om verbreding toe te staan. Hoewel in deze gevallen de fundering wel moeten worden aangepast, is ruimte in de breedte geen beperkende factor op veel van deze wegen.
Van de overige wegen (60%) heeft ongeveer de helft van de wegvakken obstakelvrije zones van minder dan 2 m. In zekere situaties kunnen deze een eventuele verbreding ernstig beperken, bijvoorbeeld situaties met een aanliggende sloot, een rij historische bomen of ligging op een dijk. In andere situaties gaat het om de aanwezigheid van obstakels die óf verwijderd óf beveiligd kunnen worden, waardoor verbreding naar een standaardprofiel wel tot de mogelijkheden hoort.

Daar waar het volledige standaardprofiel niet op korte termijn kan worden gerealiseerd, wordt aanbevolen om (enkele) afzonderlijke dwarsprofiel-elementen conform de standaardwaarde uit te voeren. In volgorde van prioriteit zijn dit:
1. vergevingsgezinde bermen en voldoende obstakelvrije ruimte;
2. verbreden of ‘hard’ maken van de rijrichtingscheiding;
3. vlucht- en bergingszone semi-verharden of draagkrachtig maken;
4. rijstroken verbreden.

Daar waar concessies moeten worden gedaan, wordt aanbevolen daarvoor te compenseren door de volgende prioritering van maatregelen aan te houden (*Tabel 7.1*).

Dwarsprofielelement	Voldoet aan standaardprofiel	Aanbevolen eerstvolgende maatregel
Obstakelvrije zone	Ja	Aanpak rijrichtingscheiding
	Nee	Afschermen continue obstakels (bomen/sloot/steile taluds) Afschermen of verwijderen obstakels Verharden buitenbermen Draagkrachtige vlucht- en bergingszone Obstakels/objecten verwijderen of afschermen
Rijrichtingscheiding	Ja	Aanpak vlucht- en bergingszone
	Nee	Vergroten rijrichtingscheiding (bijv. flush median) Aanbrengen moeilijk overrijdbare scheiding Aanbrengen harde scheiding Geprofileerde asmarkering toepassen
Vlucht- en bergingszone	Ja	Aanpak rijstrook-/rijbaanbreedte
	Nee	Objecten en obstakels verwijderen Bermverharding Geprofileerde kantmarkering toepassen
Rijstrook en -baan	Ja	Aanpak snelheidslimiet
	Nee	Verbreden rijstrook ten koste van redresseerstrook Draagkrachtige berm (betontegels)

Tabel 7.1. *Prioritering in de aanpak van dwarsprofielelementen.*

De SWOV beveelt wegbeheerders aan om GOW80-wegen af te waarderen naar een weg met een lagere snelheidslimiet of een ETW wanneer ze niet op de korte of lange termijn conform het standaardprofiel vormgegeven kunnen worden. Het opnieuw categoriseren van het weggennetwerk is hier essentieel.

Literatuur

Aarts (red.), L.T. (2011). *Methoden en instrumenten voor het onderbouwen van verkeersveiligheidsbeleid.* R-2011-3. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Aarts, L., Nes, N. van, Wegman, F.C.M., Schagen, I.N.L.G. van, et al. (2009). *Safe Speeds and Credible Speed Limits (SaCredSpeed): New Vision for Decision Making on Speed Management.* Paper gepresenteerd op 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board TRB, Washington DC, USA.

AASHTO (2010). *Highway Safety Manual (first edition)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, Washington, D.C.

Bergh, T. & Moberg, J. (2005). *Country Report Sweden.* Paper gepresenteerd op 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago.

Brewer, M.A. (2012). R*ecent Roadway Geometric Design Research for Improved Safety and Operations - A synthesis of Highway Practice*. NCHRP Synthesis 432. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Brüde, U., Larsson, J. & Thulin, H. (1980). *Trafikolyckors samband med linjeföring*. VTI Meddelande No. 235. Statens Väg- och trafik institut VTI, Linköping.

Cardoso, J.L.C. (2011). *Cross-country applicability of evaluation methods: A pilot study in Portugal and Germany*. Rismet Deliverable 6.3. Eranet-Road, Leidschendam.

CBS (2012). Statline - Lengte van wegen. CBS, Den Haag. op http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=70806ned&D1=0-1,8,14&D2=0,5-16&D3=a&HD=090330-1643&HDR=G2&STB=G1,T.

Corben, B., Deery, H., Mullan, N. & Dyte, D. (1997). *The general effectiveness of countermeasures for crashes into roadside objects*. Report No. 111. Monash University Accident Research Centre, Clayton, Victoria.

CROW (1997). *Handboek categorisering wegen op duurzaam veilige basis. Deel 1: (voorlopige) functionele en operationele eisen.* Publicatie 116. Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek C.R.O.W, Ede.

CROW (2002). *Handboek Wegontwerp*. Publicatie 164, deel a t/m d. CROW, Ede.

CROW (2004). *Richtlijn Essentiële Herkenbaarheidskenmerken van weginfrastructuur*. Publicatie 203. CROW, Ede.

CROW (2012a). *Basiskenmerken wegontwerp*. Publicatie 315. CROW, Ede.

CROW (2012b). *Handboek Wegontwerp 2012*. Herziening Publicatie 164. CROW, Ede.

Davidse, R.J. (2007). *Diepteonderzoek naar de invloedsfactoren van verkeersongevallen: een voorstudie : voorbereidende studie naar een methodiek die de meerwaarde van diepteonderzoek kan waarborgen*. D-2007-1. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Davidse, R.J. (2011). *Bermongevallen: karakteristieken, ongevalsscenario's en mogelijke interventies - Resultaten van een dieptestudie naar bermongevallen op 60-, 70-, 80- en 100km/uur-wegen*. R-2011-24. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

DHV (2001). *Regionale stroom- en gebiedsontslutingswegen - effecten van inhaalverboden: Fase 2-praktijkonderzoek.* RWS, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam.

Dietze, M. & Weller, G. (2011). *Applying speed prediction models to define road sections and to develop accident prediction models: A German case study and a Portugese exploratory study*. Rismet Deliverable 6.2. Eranet-Road, Leidschendam.

Dijkstra, A. (1998). *Oriëntatie op kwantitatieve relaties tussen elementen van het wegontwerp en indicatoren voor verkeersonveiligheid : literatuurstudie buitenlands onderzoek*. R-98-49. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A., Louwerse, W.J.R. & Aarts, L.T. (2010). *Veiligheidsgehalte toetsen van verkeersinfrastructuur: hoe doe je dat?* Paper gepresenteerd op Nationaal verkeerskundecongres 2010

Dobson, A.J. (2002). *An introduction to generalized linear models: second edition*. Chapman & Hall / CRC Press Company.

DTV Consultants (2010). *Gebruikersonderzoek ASVV - Gebruikerswensen voor een vernieuwde versie van de ASVV*. CROW, Breda, The Netherlands.

DTV Consultants (2011). *EHK op provinciale wegen - Inventarisatie en evaluatie*. DTV Consultants, Breda.

Elvik, R., Høye, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (red.) (2009a). *The Handbook of Road Safety Measures*. Second edition ed. Emerald Publishing, Bingley,.

Elvik, R., Hoye, E., Vaa, T. & Sorensen, M. (2009b). *The Handbook of road safety Measures, 2nd edition*. Emerald Publishing, Bingley, UK.

EuroRAP (2012). *ANWB onderzoek naar de veiligheid van provinciale wegen in Gelderland en Overijssel*. Rapport aan de ANWB, juni 2012. European Road Assessment Programme EuroRAP, Den Haag.

FHWA (2007). *Toolbox of countermeasures and their potential effectiveness for roadway departure crashes*. FHWA, US DoT, Washington DC.

FHWA (2009). *Safety Evaluation of Lane and Shoulder Width Combinations of Rural, Two-lane, undivided roads*. FHWA publication no. FHWA-HRT-09-032. Turner Fairbank Highway Research Centre, McLean, VA.

Gan, A., Shen, J. & Rodriguez, A. (2005). *Update of Florida Reduction factors and Countermeasures to Improve the Development of District Safety Improvement Projects. Final report*. Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL.

Griffith, M.S. & Council, F.M. (1999). *The highway safety information system : United States Department of Transportation multi-state safety analysis database.* Paper gepresenteerd op Traffic safety on two continents, September 20-22, 1999, Malmö, Sweden.

Gross, F., Eccles, K., Jovanis, P.P. & Chen, K. (2009). *Safety evaluation of lane and shoulder width combinations on rural, two-lane, undivided roads*. FHWA -HRT-09-032. Federal Highways Administration, McLean, Va.

Hall, L.E., Powers, R.D., Turner, D.S., Brilon, W., et al. (1995). *Overview of cross-section design elements.* Paper gepresenteerd op International symposium on Highway Geometric Design Practices, USA.

Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E., et al. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways.* FHWA-RD-99-207. Federal Highways Administration, Washington USA.

Hedman, K.-O. (1989). *Road design and safety*. In: Proceedings of Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two Continents in Gothenburg, Sweden, 27-29 September, 1989. VTI Linkoping, p. 225-238.

Hutchinson, J.W. & Kennedy, T.W. (1966). *Medians of divided highways: frequency and nature of vehicle encroachments*. Bulletin 487. University of Illinois Engineering Experiment Station, Illinois.

Jurewicz, C. & Pyta, V. (2010). *Effect of clear zone widths on run-off-road crash outcomes.* Paper gepresenteerd op Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, National Convention Centre, Canberra, Australia.

Koornstra, M.J., Mathijssen, M.P.M., Mulder, J.A.G., Roszbach, R., et al. (1992). *Naar een duurzaam veilig wegverkeer; Nationale verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 1990/2010*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam, the Netherlands.

Lynam, D.A. & Kennedy, J.V. (2005). *The travel of errant vehicles after leaving the carriageway*. PPR298 3/372/R14. TRL, Crowthorne, Berkshire.

Matena, S., Louwerse, W., Schermers, G., Vaneerdewegh, P., et al. (2008). *RoadDesign and Environment - Best Practice on Self-explaining and Forgiving Roads*. RIPCORD-ISEREST-Deliverable-D3.doc. Bast

Mazerolle, M.J. (2004). *APPENDIX 1: Making sense out of Akaike's Information Criterion (AIC): its use and interpretation in model selection and inference from ecological data. Mouvements et reproduction des amphibiens en tourbières perturbées*. Université Laval.

McLean, J., Veith, G. & Turner, B. (2010a). *Road safety engineering risk assessment, Part 1: Relationship between crash risk and the standards of geometric design elements*. AP-T146/10. Austroads, Sydney, Australia.

McLean, J., Veith, G. & Turner, B. (2010b). *Road Safety Engineering Risk Assessment. Part 1:Relationships between Crash Risk and the Standards of Geometric Design elements*. Austroads publication No. AP-T146/10. Austroads, Sydney.

Milliken, P. & de Pont, J. (2005). *The effect of cross-sectional geometry on heavy vehicle performance and safety* Transfund New Zealand Research Report no. 263. Transfund New Zealand
Wellington.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1997). *Aan de start - Startprogramma Duurzaam Veilig Verkeer 1997-2000*. MINVENW, Den Haag.

NZ Transport Agency (2006). *Flush medians, Factsheet 52*. NZ Transport Agency, Auckland.

NZ Transport Agency (2011). *High-risk rural roads guide, version 1*. NZ Transport Agency, Wellington.

Paniati, J.F. & Council, F.M. (1991). *The highway safety information system: applications and future directions*. In: Public Roads, p. 271-278.

Petegem, J.W.H. van (2012). *Een modellenonderzoek naar bermongevallen - een correlatieonderzoek naar bermongevallen en het dwarsprofiel, plus een handreiking voor de ontwikkeling van nieuwe ongevallen-voorspellingsmodellen en een nieuwe onderzoeksdatabase van wegkenmerken op basis van de ontwikkeling van de BGT*. Civiel, Masters scriptie. Technische Universiteit Delft, Delft.

Pol, W.H.M. van de & Janssen, S.T.M.C. (1998). *Scheiding rijrichtingen op rondweg Oostburg : een onderzoek naar de invloed van strips en flexibele paaltjes op het inhaalgedrag*. In opdracht van Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer AVV. R-98-21. SWOV, Leidschendam.

Reurings, M.C.B. & Bos, N.M. (2011). *Ernstig verkeersgewonden in de periode 1993-2009; Update van de cijfers.* R-2011-5. SWOV, Leidschendam.

Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., et al. (2006). *Accident Prediction Models and road safety impact assessment : a state-of-the-art*. European Commission, Directorate-General for Transport and Energy (TREN)], Brussels.

Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., et al. (2007). *Accident Prediction Models and Road safety Impact Assessment: a state-of-the-art*. Report 1 of work package 2 of RIPCORD-ISEREST. SWOV, Leidschendam, The Netherlands.

Reurings, M.C.B. (2008). *Het Highway Safety Information System (HSIS) van de FHWA (Federal Highway Administration); Beschrijving van een Amerikaanse onderzoeksdatabase en beoordeling of de gedachte hierachter ook bruikbaar is voor Nederland en de SWOV*. D-2008-13. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Reurings, M.C.B. & Janssen, S.T.M.C. (2007). *Accident Prediction Models for urban and rural carriageways; based on data from The Hague region Haaglanden*. R-2006-14. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam.

SANRAL (2001). *Geometric Design Guideline*. G2. CSIR, Pretoria, South Africa.

Schermers, G., Cardoso, J., Elvik, R., Weller, G., et al. (2011). *Guidelines for the development and application of evaluation tools for road infrastructure safety management in the EU*. Project nr. 823137 Deliverable 7. Eranet Roads, Leidschendam, the Netherlands.

Schermers, G. & Duivenvoorden, C.W.A.E. (2010). *Een SWOV-database Wegkenmerken: Stand van zaken en verdere ontwikkeling*. D-2010-7. Leidschendam, SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C. & Bos, J.M.J. (1983). *Boomongevallen-een verkennend onderzoek naar de frequentie en ernst van botsingen tegen obstakels, in relatie tot de breedte van de obstakelvrije zone*. R-83-23. Leidschendam, SWOV, Leidschendam.

Srinivasan, R., Torbic, D., Council, F. & Harkey, D. (2009). *Highway Safety Manual Knowledge Base (update)*. FHWA, Washington DC.

Stamatiadis, N., Pigman, J., Sacksteder, J., Ruff, W., et al. (2009). *IMpact of shoulder width and median width on safety*. NCHRP Report 633. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Stein, W.J. & Neuman, T.R. (2007). *Mitigation Strategies for Design Exceptions* FHWA-SA-07-011. Federal Highways Administration, Washington D.C.

SWOV (2011). *Verkeersdoden in Nederland*. Factsheet, juni 2011. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

SWOV (2013). *Ernstig verkeersgewonden in Nederland*. Factsheet, februari 2013. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

TRB (1987). *Designing safer roads: practices for resurfacing, restoration and rehabilitation.* TRB Special Report 214. Transportation Research Board, Washington, D.C.

TRB (2010). *Highway capacity manual 2010*. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Vlakveld, W.P. & Louwerse, W.J.R. (2011). *De relatie tussen Road Protection Scores (RPS) en het slachtofferrisico op wegvakken van provinciale wegen in Utrecht*. R-2011-7. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid WOV, Leidschendam.

Wegman, F. & Aarts, L. (2005). *Door met Duurzaam Veilig; Nationale Verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 2005-2020*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Weijermars, W.A.M. & Schagen, I.N.L.G. van (2009). *Tien jaar Duurzaam Veilig*. R-2009-14. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Zegeer, C., Reinfurt, D., Neuman, T., Stewart, R., et al. (1990). *Safety improvements on horizontal curves for two-lane rural roads : informational guide*. University of North Carolina UNC, Highway Safety Research Center HSRC, Chapel Hill.

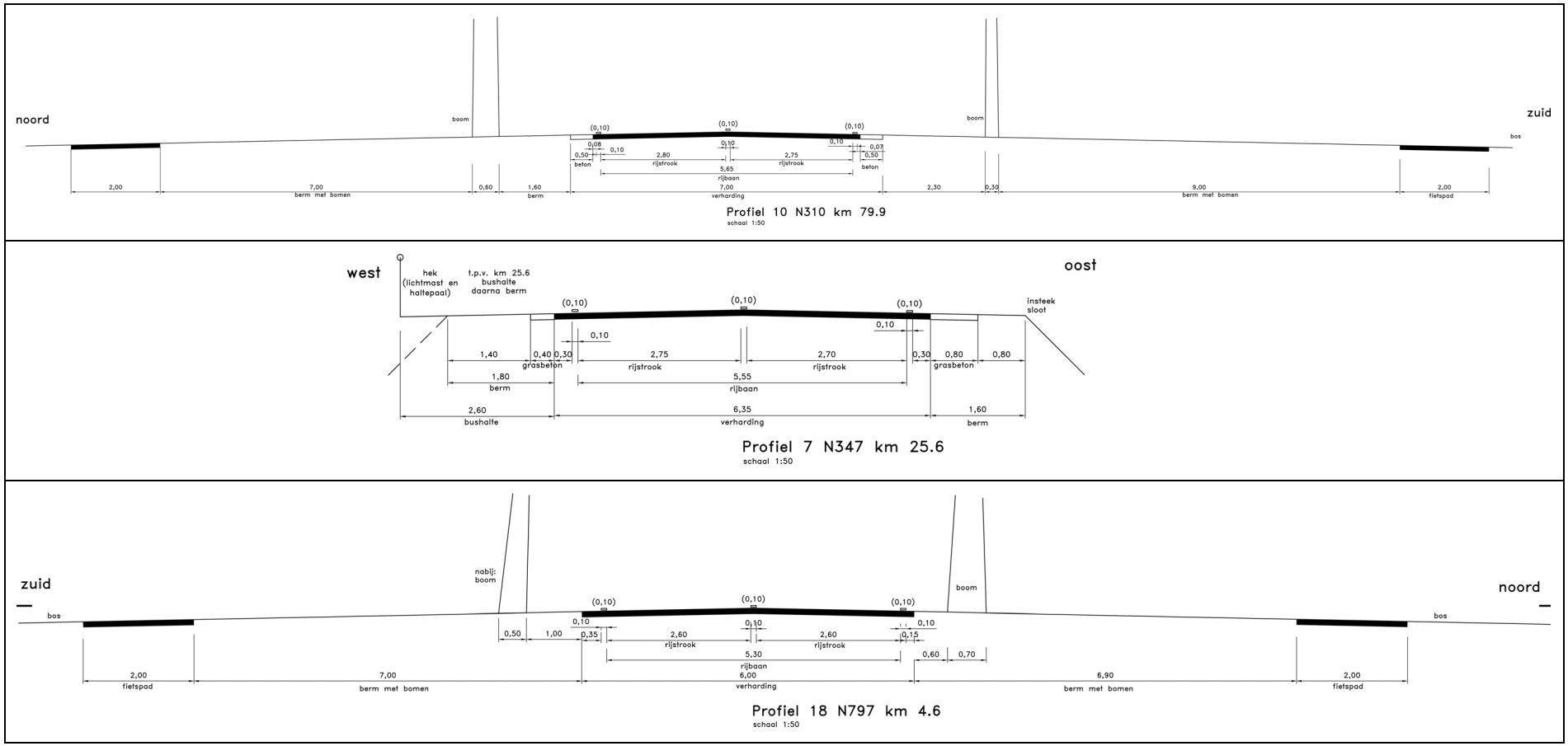
Zegeer, C.V., Reinfurt, D.W., Hunter, W.W., Hummer, J., et al. (1988). *Accident effects of side slope and other roadside features on two-lane roads*. Transportation Research Record 1195. TRB, Washington, D.C.

Bijlagen 1 t/m 4

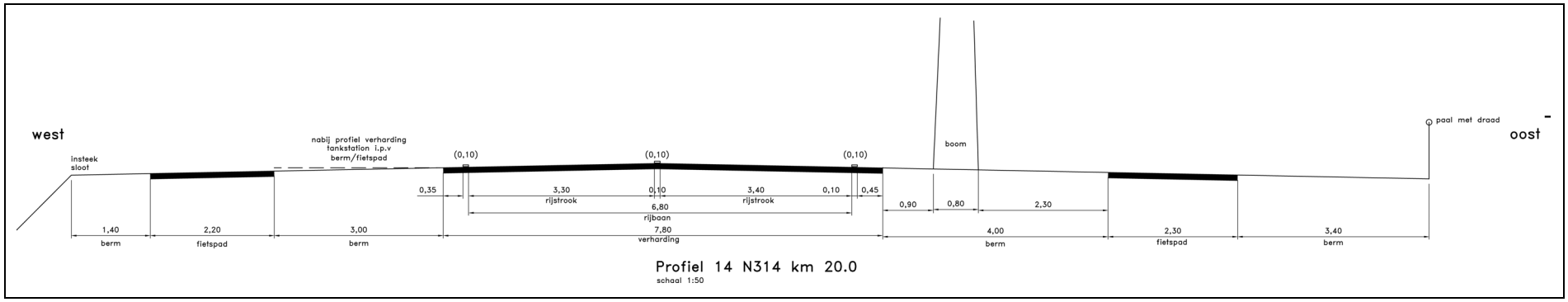
1. *Dwarsprofielen*
2. *Snelheidsmetingen*
3. *Ongevallen gedragsonderzoek*
4. *Resultaten vergelijkbare CPM's*

Bijlage 1 Dwarsprofielen

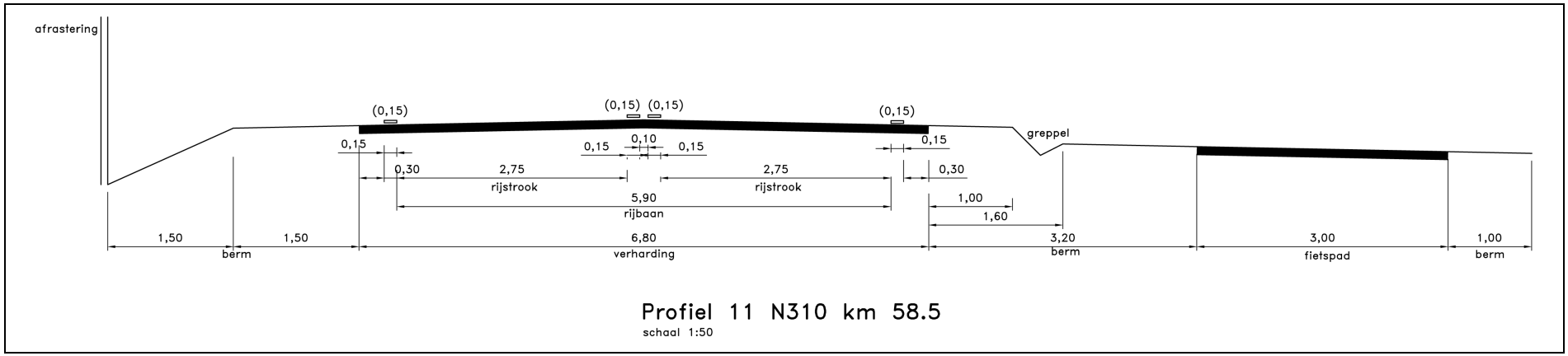
Dwarsprofielen Groep 1 (Enkele onderbroken as- en onderbroken kantmarkering)

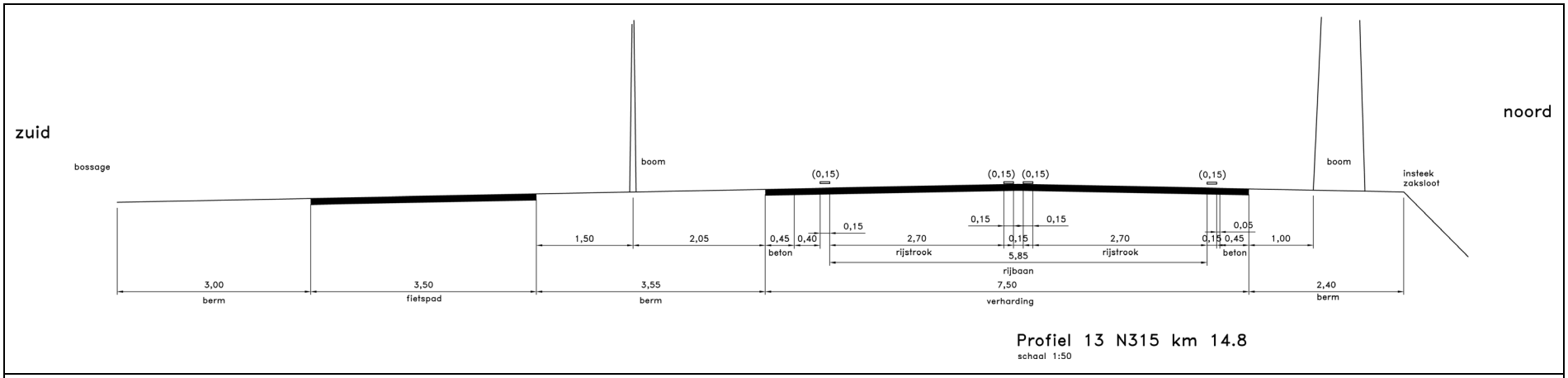


Dwarsprofielen Groep 2 (Enkele onderbroken as- en doorgetrokken kantmarkering)



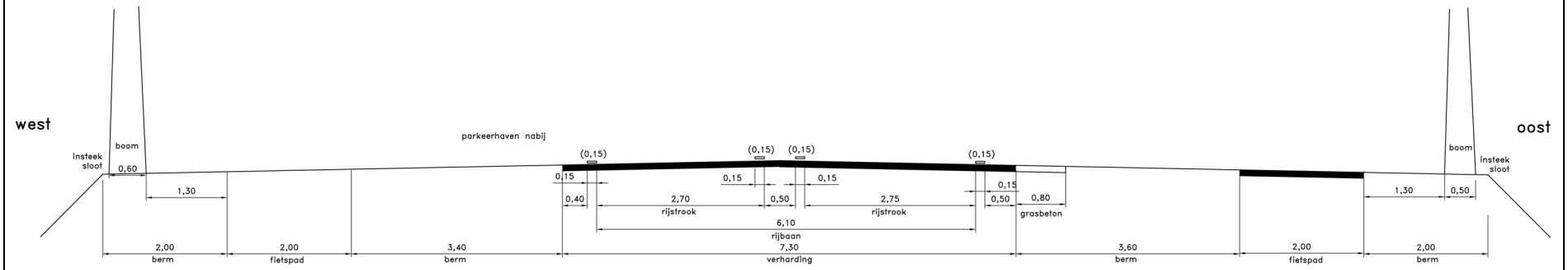
Dwarsprofielen Groep 3 (Dubbele onderbroken as- en onderbroken kantmarkering)





Profiel 13 N315 km 14.8

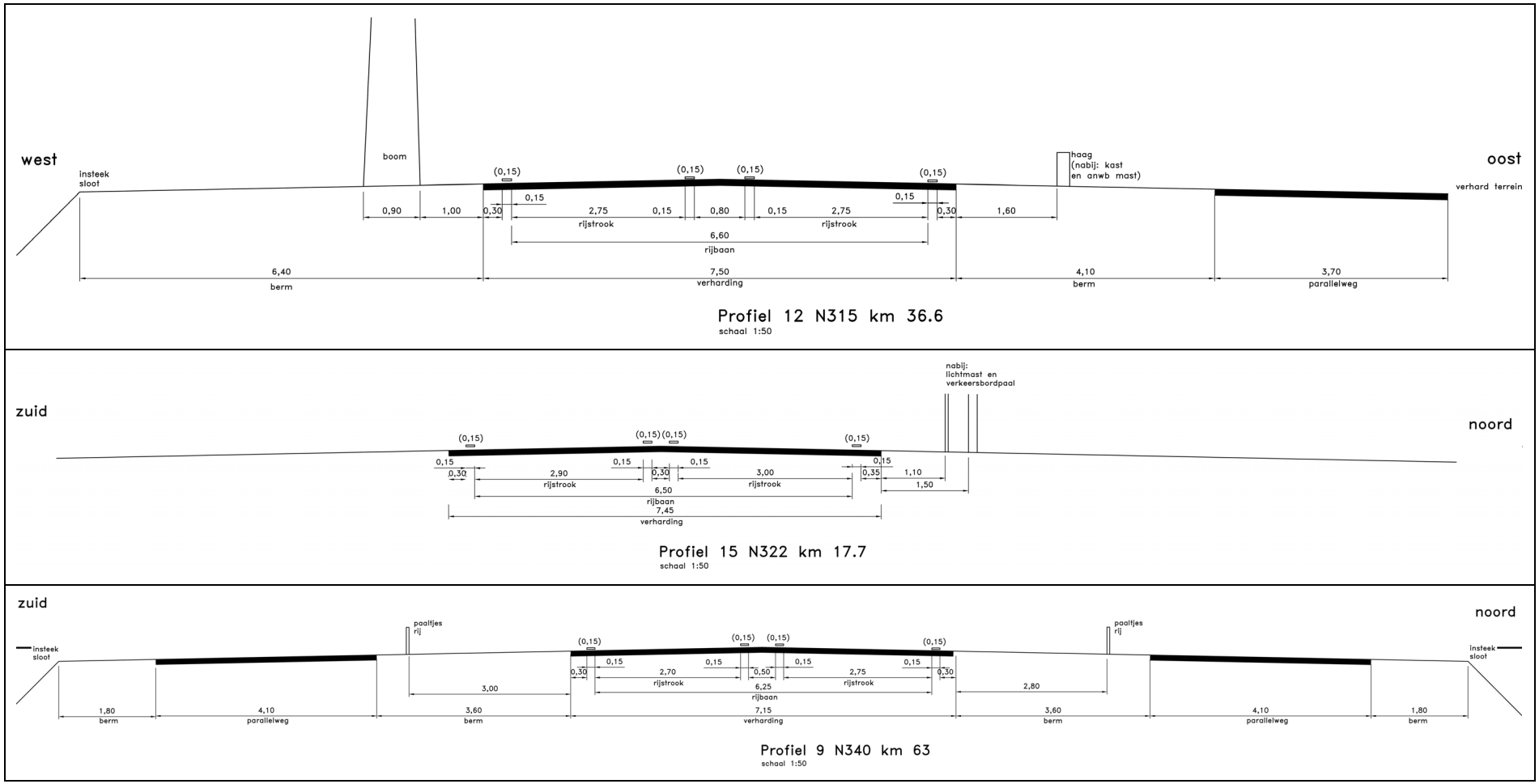
schaal 1:50

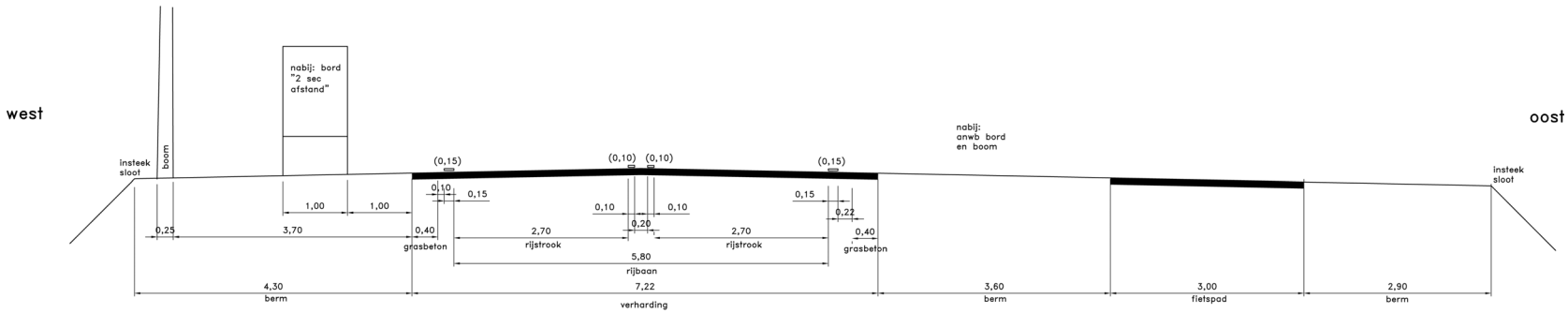


Profiel 8 N348 km 64.3

schaal 1:50

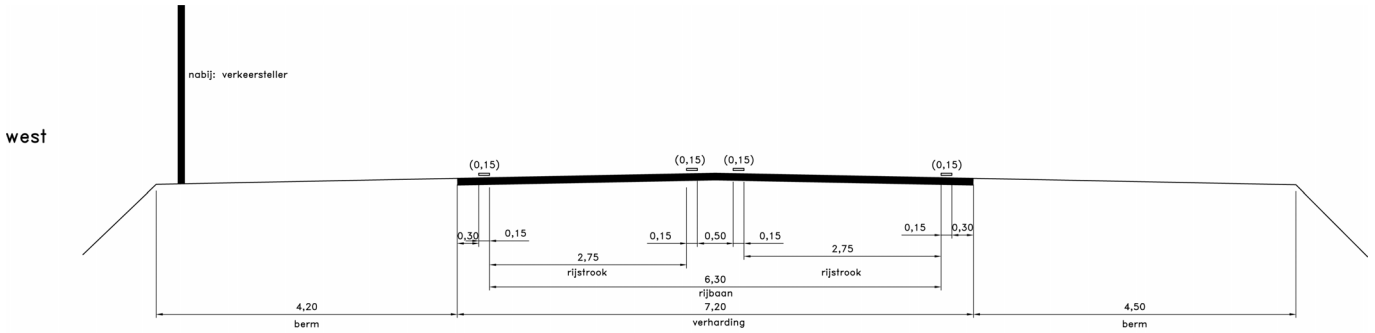
Dwarsprofielen Groep 4 (Dubbele doorgetrokken as- en onderbroken kantmarkering





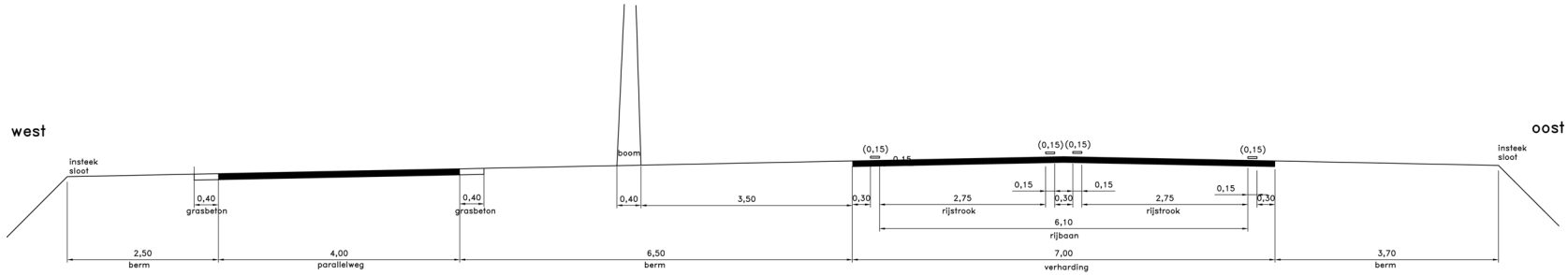
Profiel 3 N343 km 23.1

schaal 1:50



Profiel 16 N346 km 14.3

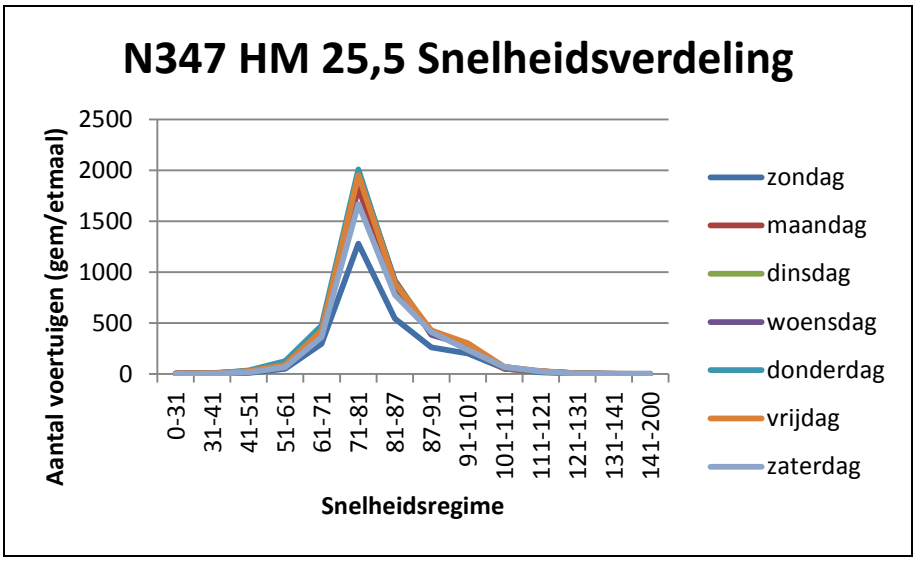
schaal 1:50



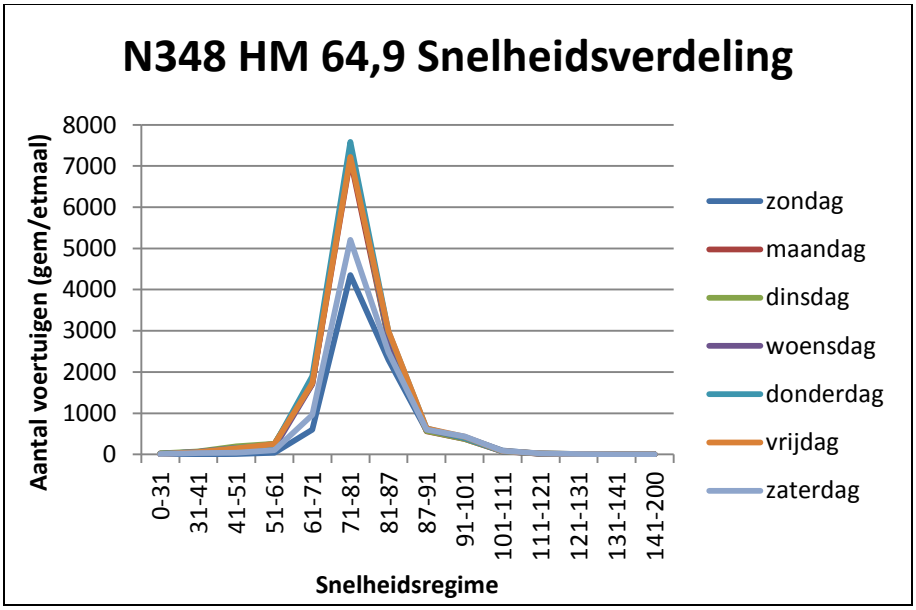
Profiel 6 N347 km 7.8

schaal 1:50

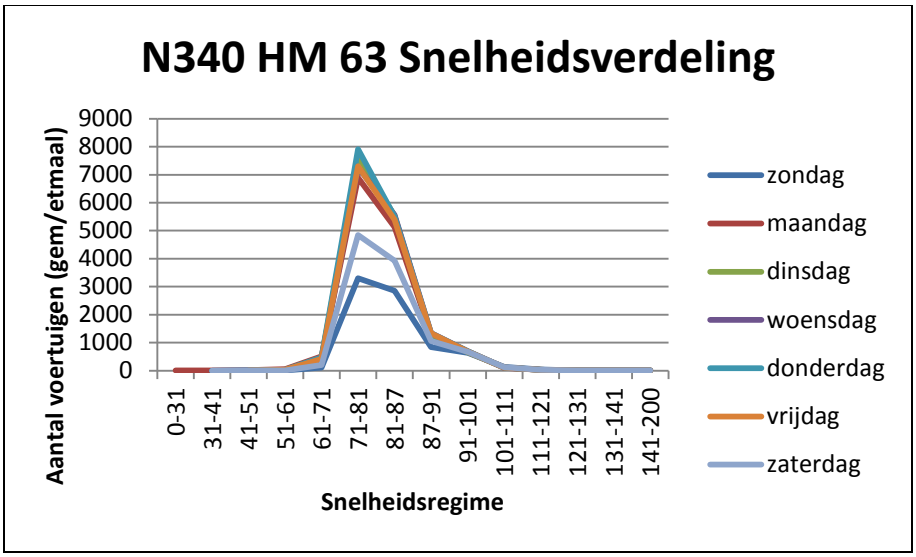
Bijlage 2 Snelheidsmetingen



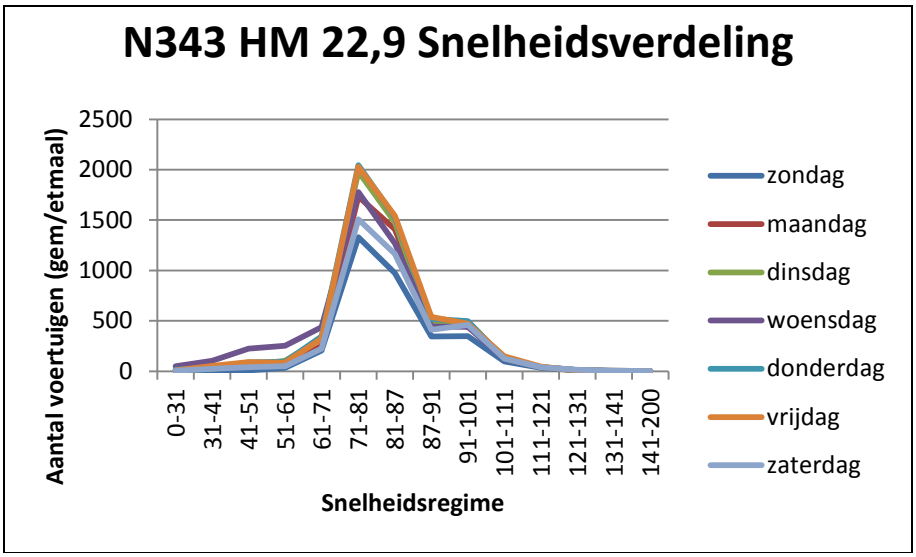
Afbeelding B.1. *Snelheidsverdeling op oude stijl GOW (Groep 1).*



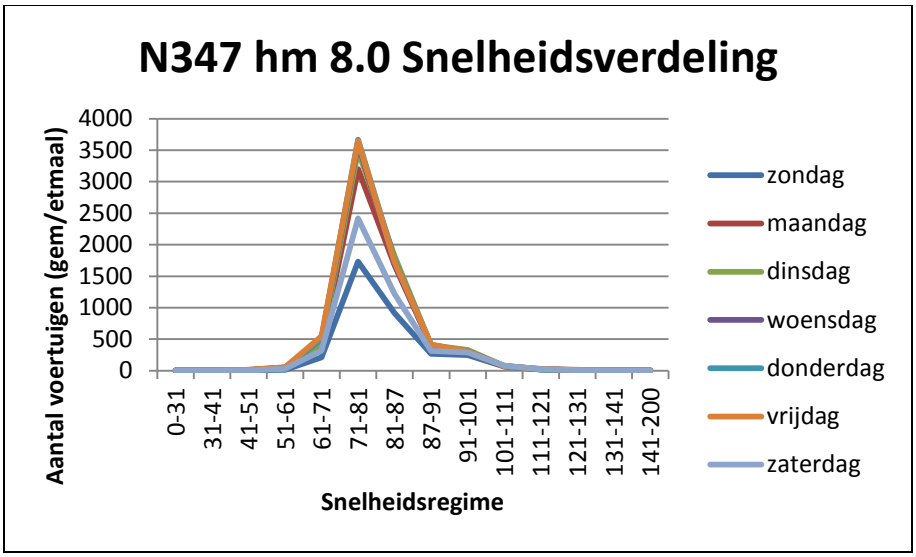
Afbeelding B.2. *Snelheidsverdeling op nieuwe stijl GOW (Groep 3).*



Afbeelding B.3. *Snelheidsverdeling GOW nieuwe stijl (Groep 4) (1).*



Afbeelding B.4. *Snelheidsverdeling GOW nieuwe stijl (Groep 4) (2).*



Afbeelding B.5. *Snelheidsverdeling GOW nieuwe stijl (Groep 4) (3).*

Bijlage 3 Ongevallen gedragsonderzoek

Het bestand BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland) is gebruikt om het aantal geregistreerde letselongevallen bij de geselecteerde locaties in de periode 2004-2008 te achterhalen. Omdat verwacht werd dat het aantal letselongevallen op de meetlocatie zelf te klein zou zijn is besloten om alle letselongevallen op het wegvak (gedefinieerd door een 600m-wegvak, 300 m aan weerszijden van het meetpunt zelf) te betrekken.

Bij de meeste wegvakken waar een meetpunt voor deze studie is opgezet zijn in de periode 2004-2008 geen letselongevallen geregistreerd (zie onderstaande tabel). Op de wegvakken waar wel letselongevallen gebeurden was dit aantal dermate klein dat verdere analyses naar bijvoorbeeld oorzaak, tegenpartij en dergelijke zinloos zijn.

Nummer en locatie	Letsellongevallen naar jaar											
	2004		2005		2006		2007		2008		Gemiddeld	
	Ern.	Alle	Ern.	Alle	Ern.	Alle	Ern.	Alle	Ern.	Alle	Ern.	Alle
Groep 1: Enkele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering												
N310 (Gl)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,2
N347(Ov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N797 (Gl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groep 2: Enkele onderbroken asstreep en doorgetrokken kantmarkering												
N314 (Gl)	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4
Groep 3: Dubbele onderbroken asstreep en onderbroken kantmarkering												
N310 (Gl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N315 (Gl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N348 (Ov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groep 4: Dubbele doorgetrokken asstreep en onderbroken kantmarkering												
N315 (Gl)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
N322 (Gl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N340 (Ov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N343(Ov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N346 (Ov)	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2
N347 (Ov)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Letselongevallen naar jaar, dwarsprofielvariant en onderzoekslocatie.

Bijlage 4 Resultaten vergelijkbare CPM's

De modellen van Reurings & Janssen (2007) waarnaar wordt gerefereerd in de hoofdtekst betreffen de volgende twee modellen:

$$\mu_i = e^{\alpha} \cdot AADT_i^{\beta_1} \cdot L_i^{\beta_2}$$

en

$$\mu_i = \beta_0 \cdot AADT_i^{\beta_1} \cdot L_i^{\beta_2} \cdot e^{\beta_3 \cdot \frac{AADT_i}{1000}}$$

Het eerste model betreft een model in de standaardvorm van het CPM en het tweede model de aangepaste vorm. Daarbij staat AADT voor de jaargemiddelde etmaalintensiteit, L voor de lengte van een wegvak en AADT/1000 voor de vormfactor van de daling in de ongevallenfrequentie bij een stijging van de jaargemiddelde etmaalintensiteit. De modellen zijn gekalibreerd op alle letselongevallen op Type II-GOW's met een snelheidslimiet van 80 km/uur in de regio Haaglanden.

Parameter	Estimate	Standard error	Wald's 95% confidence interval	Wald's χ^2	*p*-value
Intercept	-10,1934	2,0450	(-14,2016, -6,1853)	24,85	< 0,0001
log(L)	0,9647	0,0826	(0,8027, 1,1266)	136,23	< 0,0001
log(AADT)	0,4967	0,2053	(0,0944, 0,8989)	5,85	0,0155
1/v (dispersie parameter)	0,3391	0,1190	(0,1058, 0,5723)		

Tabel B.1. *Parameterschattingen van de standaardvorm van het CPM.*

Parameter	Estimate	Standard error	Wald's 95% confidence interval	Wald's χ^2	*p*-value
Intercept	-18,7059	6,5065	(-31,4583, -5,9534)	8,27	0,0040
log(L)	0,9588	0,0812	(0,7997, 1,1179)	139,49	< 0,0001
log(AADT)	1,5407	0,7827	(0,0067, 3,0747)	3,88	0,0490
AADT /1000	-0,0940	0,0673	(-0,2259, 0,0378)	1,95	0,1621
1/v	0,3112	0,1132	(0,0892, 0,5331)		

Tabel B.2. *Parameterschattingen van de aangepaste modelvorm.*

Het model van Van Petegem (2012) is een model in de aangepaste vorm en is gekalibreerd op bermongevallen met letselschade in de provincies Gelderland en Drenthe.

Ongevalsvoorspellingsmodel – Bermongevallen

$$\hat{\mu}_i = 7{,}79 \cdot 10^{-6} \cdot JGEI^{1{,}05} \times e^{\frac{JGEI}{1000}\cdot -0{,}11 + Obst \cdot 0{,}41 + Bermb. -0{,}74 + SBocht \cdot 1{,}07 + MBocht \cdot 0{,}20}$$

Parameter	Betekenis	Exponent	Parameter-schatting	Standaard-afwijking	*p*-waarde
$\hat{\mu}_i$	Ongevallenfrequentie op een wegvak				
Intercept		7,8 E-06	-11,76	3,55	0,001
JGEI	Jaargemiddelde etmaalintensiteit	-	1,05	0,45	0,019
JGEI/1000	Intensiteit correctiefactor	0,89	-0,11	0,06	0,049
Obst	Obstakelafstand 0-2 meter	1,51	0,41	0,013	0,001
Bermb	Bermbeveiliging zijnde een betonnen barrier of standaard vangrail	0,48	-0,74	0,436	0,092
Sbocht	Sterk bochtig; visuele interpretatie van het aantal bochten per km	2,93	1,07	0,405	0,008
Mboch	Matig bochtig; visuele interpretatie van het aantal bochten per kilometer	1,23	0,20	0,13	0,108

Tabel B.3. *Significantie van het aangepast model.*