

Risicoanalyse autosnelwegen

Deel I: Literatuurstudie

Erik Nuyts, Els Hannes, An Dreesen

PROMOTOR ▶ Rob Cuyvers
ONDERZOEKSLIJN ▶ Infrastructuur en ruimte
ONDERZOEKSGROEP ▶ PHL, LUC BMA, LUC DAM, VITO, VUB
RAPPORTNUMMER ▶ RA-2004-28

**UNIVERSITAIRE CAMPUS
GEBOUW D
B 3590 DIEPENBEEK**

T ▶ 011 26 81 90
F ▶ 011 26 87 11
E ▶ info@steunpuntverkeersveiligheid.be
I ▶ www.steunpuntverkeersveiligheid.be

Risicoanalyse autosnelwegen

Deel I: Literatuurstudie

RA-2004-28

Erik Nuyts, Els Hannes, An Dreesen

Onderzoekslijn Infrastructuur en ruimte



DIEPENBEEK, 2004.

STEUNPUNT VERKEERSVEILIGHEID BIJ STIJGENDE MOBILITEIT.

Documentbeschrijving

Rapportnummer: RA-2004-28
Titel: Risicoanalyse autosnelwegen

Ondertitel: Deel I: Literatuurstudie

Auteur(s): Erik Nuyts, Els Hannes, An Dreesen
Promotor: Rob Cuyvers
Onderzoekslijn: Infrastructuur en ruimte
Partner: Provinciale Hogeschool Limburg
Aantal pagina's: 61
Trefwoorden: verkeersveiligheid, infrastructuur, autosnelwegen, risicoanalyse, literatuurstudie

Projectnummer Steunpunt: 2.2
Projectinhoud: Effecten infrastructurale verkeersveiligheidsmaatregelen

Uitgave: Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit, januari 2004.

Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit
Universitaire Campus
Gebouw D
B 3590 Diepenbeek

T 011 26 81 90
F 011 26 87 11
E info@steunpuntverkeersveiligheid.be

Samenvatting

Dit rapport is het eerste deel van een risico analyse van de Vlaamse autosnelwegen. Eerst schetsen we kort de toestand van de verkeersveiligheid op de Vlaamse autosnelwegen. Daarna geven we, vanuit het standpunt van verkeersveiligheid, een aantal richtcijfers voor infrastructuurkenmerken en de effectiviteit van een aantal infrastructuurmaatregelen. Hiervoor baseren we ons op de internationale literatuur. Daarnaast overlopen we de ministeriële omzendbrieven voor de Vlaamse autosnelwegen en gaan na in hoeverre deze overeenkomen met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben. In een tweede rapport zullen we de internationale richtcijfers en de Vlaamse richtlijnen vergelijken met de reële waarden van de Vlaamse infrastructuurkenmerken.

De ernst van de ongevallen is groter op autosnelwegen dan op andere wegen. Het 'verkeersrisico' op een ongeval, uitgedrukt in aantal ongevallen per miljard afgelegde voertuigkilometer, is veel lager op autosnelwegen dan op andere wegen. Maar omdat er op deze wegen veel verkeer verwerkt wordt op een beperkte ruimte, is het 'wegrisico' van autosnelwegen uitgedrukt in aantal ongevallen per 100 km weglengte er veel hoger dan op andere wegen. Dit maakt dat infrastructuurmaatregelen er zeer effectief kunnen zijn. In vergelijking met vele andere landen is zowel het verkeersrisico als het wegrisico hoog op de Vlaamse autosnelwegen.

De internationale literatuur laat toe om richtcijfers te vinden over een verscheidenheid van kenmerken: wrijving van het wegdek, gebruik van automatische managementsystemen, lengteprofiel en dwarsprofiel van de weg, opbouw van verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen, verlichting en veilige inrichting van de wegbermen. Over sommige gewenste waarden bestaat vrij grote eensgezindheid in de literatuur, voor andere kenmerken is het veel minder duidelijk wat de meest veilige oplossing is.

Volgende maatregelen zijn effectief om de verkeersonveiligheid te verminderen: langsgroeven, zorgen voor voldoende grote wrijving van het wegdek, aanwezigheid van een vluchtstrook, automatisch managementsystemen, veiligheidsbarrières in de middenberm, degelijke verlichting, longitudinale ribbelstroken. Linkse afritten moeten vermeden worden

De Vlaamse richtlijnen over de aanleg van de autosnelwegen zijn beperkt in omvang, en verouderd. De jongste richtlijn dateert van 1981. Deze richtlijnen zouden up to date gemaakt moeten worden. De meeste richtlijnen die we konden vergelijken, zijn conform met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben. Er zijn echter twee richtlijnen die verbeterd kunnen worden.

- Als richtlijn een vluchtstrookbreedte van 3m, met eventueel 0.75m voor kantsstrook en watergreppel is beperkt. 4 m zou een veiliger richtlijn zijn.
- Als richtlijn een middenbermbreedte van 3.5 m is erg beperkt. De literatuur raadt 10 m aan.

Inhoudsopgave

DOCUMENTBESCHRIJVING	2
SAMENVATTING	3
INHOUDSOPGAVE	4
1. INLEIDING	7
1.1 Doelstelling voor dit onderzoek	7
1.2 Beperkingen van dit rapport	7
1.3 Onveiligheid op de Vlaamse autosnelwegen	8
1.4 Werkwijze van het literatuuroverzicht	12
2. LENGTEPROFIEL	13
2.1 Overzicht van belangrijkste resultaten	13
2.2 Horizontaal lengteprofiel	13
2.2.1 <i>De rechtstand</i>	13
2.2.2 <i>Bochten</i>	13
2.2.3 <i>Overbreedte</i>	14
2.3 Verticaal lengteprofiel	14
2.3.1 <i>De langshelling</i>	14
2.4 Constructie	15
2.4.1 <i>Stroefheid</i>	15
2.4.2 <i>Vlakheid</i>	15
2.4.3 <i>Afvoer regenwater</i>	15
3. DWARSPROFIEL	17
3.1 Overzicht van belangrijkste resultaten	17
3.2 Rijstrook	17
3.2.1 <i>Breedte van de rijstrook</i>	17
3.2.2 <i>Profiel van vrije hoogte</i>	18
3.3 Vluchtstrook	18
3.3.1 <i>Breedte van de vluchtstrook</i>	18
3.3.2 <i>Vluchtstrook of middenberm opgeven</i>	19
3.4 Redresseerstrook	19
3.5 Zijberm	20
3.5.1 <i>Helling van een zijberm</i>	20
3.6 Middenberm	20
3.6.1 <i>Breedte van de middenberm</i>	20
3.6.2 <i>Middenberm opgeven</i>	20
4. VERKEERSWISSELAARS EN OP- EN AFRITTENCOMPLEXEN	21
4.1 Overzicht van belangrijkste resultaten	21

4.2	Turbulente zone op autosnelweg	21
4.3	Verkeerswisselaars	23
4.4	Op- en afrittencomplexen	23
4.5	Wegvakken in verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen	24
	4.5.1 Wegvakken in afritten	24
	4.5.2 Wegvakken in opritten	25
4.6	In- en uitvoegbewegingen.....	25
	4.6.1 Algemeen: Verkeersveiligheid van in- en uitvoegbewegingen.....	25
	4.6.2 Extra gevaarlijke op- en afritten identificeren	26
	4.6.3 Uitvoegingen en uitvoegstrook	26
	4.6.4 Het spits toelopend gebied bij een afrit: het puntstuk.....	27
	4.6.5 Invoegingen en invoegstrook	27
	4.6.6 Samenvoeging.....	28
	4.6.7 Weefvakken	28
5.	VERLICHTING	29
5.1	Overzicht van belangrijkste resultaten	29
5.2	Effectiviteit van verlichting	29
5.3	Waar verlichten	29
6.	VEILIGE INRICHTING VAN BERMEN.....	31
6.1	Overzicht van belangrijkste resultaten	31
6.2	Obstakelvrije zones.....	31
6.3	Botsveiliger maken van obstakels	32
6.4	Beveiligingsconstructies.....	32
	6.4.1 Toepassing.....	32
	6.4.2 Keuze van beveiligingsconstructie.....	32
	6.4.3 Plaatsing bij obstakels.....	33
	6.4.4 Discontinuïteiten van beveiligingsconstructies.....	33
7.	DIVERSEN.....	35
7.1	Overzicht van belangrijkste resultaten	35
7.2	HOV-stroken	35
	7.2.1 Aparte rijstroken / banen met vaste rijrichting.....	35
	7.2.2 Wisselstrook	36
7.3	Faciliteiten naast de weg	36
7.4	Praatpalen	36
7.5	Ribbelstrook	36
7.6	Verkeersmanagement	37
7.7	Spookrijden	38
8.	RICHTCIJFERS UIT DE LITERATUUR	39

9.	EFFECTIVITEIT VAN INFRASTRUCTUURMAATREGELEN OP AUTOSNELWEGEN.....	42
10.	DE VLAAMSE SITUATIE	45
10.1	Algemeen	45
	10.1.1 Definitie.....	45
	10.1.2 Ontwerpsnelheid.....	45
	10.1.3 Continuïteit.....	45
	10.1.4 Type autosnelwegen.....	45
10.2	Lengteprofiel.....	45
	10.2.1 Verkanting	45
	10.2.2 Maximale helling en verkanting.....	46
	10.2.3 Minimale straal in plan voor een horizontale weg	46
	10.2.4 Overbreedte.....	46
10.3	Dwarsprofiel	46
	10.3.1 Type dwarsprofiel.....	46
	10.3.2 Middenberm	47
	10.3.3 Veiligheidsstroken	47
	10.3.4 Rijstroken	47
	10.3.5 Vluchtstroken	47
	10.3.6 Zijberm	48
10.4	Allerlei	48
	10.4.1 Gabariet van kunstwerken.....	48
	10.4.2 Verharding.....	48
10.5	Vergelijking met de richtcijfers uit de literatuur.....	49
	10.5.1 Vergelijking met internationale richtcijfers	49
	10.5.2 Vergelijking met extra richtcijfers ROA	52
	10.5.3 Vergelijking met ideeën, waarvoor geen richtcijfers waren	53
	10.5.4 Conclusie vergelijkingen.....	53
11.	CONCLUSIE EN BELEIDSAANBEVELINGEN.....	54
11.1	Conclusies en aanbevelingen over de richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen	54
11.2	Overzicht van de aanbevolen maatregelen op basis van de literatuur	54
12.	LIJST MET AFKORTINGEN	56
13.	DANKBETUIGING	57
14.	REFERENTIES	58

1. INLEIDING

1.1 Doelstelling voor dit onderzoek

Dit rapport kadert in een geheel van drie onderzoeken, waarbij we risicoanalyses maken van (1) de Vlaamse autosnelwegen, (2) gewestwegen binnen bebouwde kom en (3) gewestwegen buiten bebouwde kom. Elk van deze onderzoeken wordt op dezelfde wijze uitgewerkt.

- (a) Aan de hand van binnen- en buitenlandse literatuur bespreken we een aantal infrastructuurkenmerken en -maatregelen. We verzamelen daarbij richtlijnen, aanbevelingen en resultaten uit buitenlands onderzoek naar infrastructuurkenmerken die bepalend zijn voor de verkeersveiligheid van autosnelwegen.
- (b) In een tabel geven we een samenvatting van de richtcijfers voor infrastructuurkenmerken. Dit geeft op compacte en overzichtelijke wijze een aantal toetsingscriteria voor de Vlaamse situatie.
- (c) In een tweede tabel geven we een samenvatting van de effectiviteiten van infrastructuurmaatregelen. Op basis hiervan kunnen voorstellen geformuleerd worden voor aanpassingen van bestaande wegen, of voor de aanleg van nieuwe wegen.
- (d) Daarna behandelen we de Vlaamse situatie. We overlopen de ministeriële omzendbrieven, en gaan na in hoeverre deze overeenkomen met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben.
- (e) Omdat we zowel de Vlaamse 'theorie' als de 'praktijk' willen screenen, geven we daarna weer welke reële data beschikbaar zijn voor het onderzoek, en in welke databanken deze data te vinden zijn.
- (f) Op basis van deze data analyseren we dan bestaande infrastructuur in Vlaanderen. We vergelijken de gevonden data met de richtcijfers die we eerder in de literatuur gevonden hebben.
- (g) Door de tenslotte de infrastructuurdata te koppelen aan de ongevalgegevens kunnen we verbanden leggen tussen infrastructuurkenmerken en frequentie van ongevallen. We maken daarmee een regressiemodel dat het aantal ongevallen voorspelt in functie van de infrastructuurkenmerken.

In dit rapport behandelen onderzoekstappen (a) tot en met (d) voor autosnelwegen.

In dit rapport zijn er dus drie concrete onderzoeksvragen.

- Wat zijn de richtcijfers voor de infrastructuurkenmerken volgens de literatuur ?
- Wat is de effectiviteit van een aantal infrastructuurmaatregelen volgens de literatuur?
- In hoeverre komen de Vlaamse richtlijnen overeen met de richtcijfers uit de literatuur?

Onderzoeksstappen (e) tot (g), dit is de analyse van de Vlaamse data, zullen in een volgend rapport behandeld worden.

1.2 Beperkingen van dit rapport

We beperken ons in dit onderzoek tot de invloed van infrastructuurkenmerken van autosnelwegen op de verkeersveiligheid. Twee problematieken waarover vrij veel literatuur beschikbaar is, hebben we bewust niet opgenomen in dit rapport:

Ten eerste de verkeersveiligheidsaspecten van tunnels. De problematiek is erg specifiek, en het aantal tunnels in Vlaanderen is erg beperkt.

De tweede problematiek is die van de verkeersveiligheid van de wegenwerken. Deze zijn niet zeldzaam in Vlaanderen, maar in dit rapport willen we ons beperken tot de 'stabiele' infrastructuur. Infrastructuur die jaren moet meegaan. Bij wegenwerken ligt de focus net omgekeerd: daar zoekt men naar verkeersveilige oplossingen die de verkeersveiligheid vergroten, maar die nadien weer vlot verwijderd moeten kunnen worden. Wat het precieze aandeel is van de verkeersonveiligheid bij wegenwerken op autosnelwegen in verhouding tot het totaal zal in het tweede deel van de risicoanalyse aan bod komen.

Het literatuuroverzicht wordt bemoeilijkt door enerzijds het gebruik van verschillende termen voor hetzelfde soort wegen, en anderzijds het gebruik van dezelfde terminologie voor verschillende soorten wegen. 'Freeway' en 'motorway' komen vaak overeen met een Vlaamse autosnelweg, hoewel 'urban freeways' meer in steden ingebed liggen dan Vlaamse autosnelwegen. 'Highway' wordt gebruikt voor een ruime variëteit aan soorten wegen. Referenties i.v.m. 'highways' zijn enkel opgenomen in de tekst, als uit de beschrijving van de studie bleek dat de weg min of meer vergelijkbaar was met een Vlaamse autosnelweg (minimaal 2 x 2 rijstroken, minimaal 90 km/h).

Omdat het aanleggen van nieuwe snelwegen in Vlaanderen nog uiterst zeldzaam is, wordt in deze publicatie geen melding gemaakt van het dimensioneren van nieuwe autosnelwegen, en de karakteristieken en ontwerpisen die uitsluitend hiermee rekening houden (bv. het benodigde aantal rijstroken voor een vlotte verkeersafwikkeling).

1.3 Onveiligheid op de Vlaamse autosnelwegen

Er zijn verschillende redenen om aan te nemen dat autosnelwegen veiliger zijn dan andere wegen: er gelden hogere bouwtechnische en verkeerstechnische normen, er zijn geen voetgangers of (brom)fietsers, geen tegenliggers, geen kruispunten, geen randbebouwing met verkeersmanoeuvres enz. (BIVV, 2001). Er zijn anderzijds eveneens redenen om aan te nemen dat de verkeersonveiligheid op autosnelwegen aanzienlijk is: het verkeer rijdt er sneller dan op andere wegen, er is meer verkeer en er is ook meer zwaar verkeer. Een risicoanalyse gerelateerd aan wegkenmerken op dit type weg is dus zinvol.

	Totaal wegennet	Autosnelwegen
Aantal letselongevallen	33023	3049
Aantal doden 30 dagen	871	143
Ernst (doden 30 dagen / 1000 ongevallen)	26	47
Verkeersrisico (letselongevallen / miljard voertuig-km)	638	159
Wegrisico (letselongevallen / 100 km weglengte)	48,57	359,30

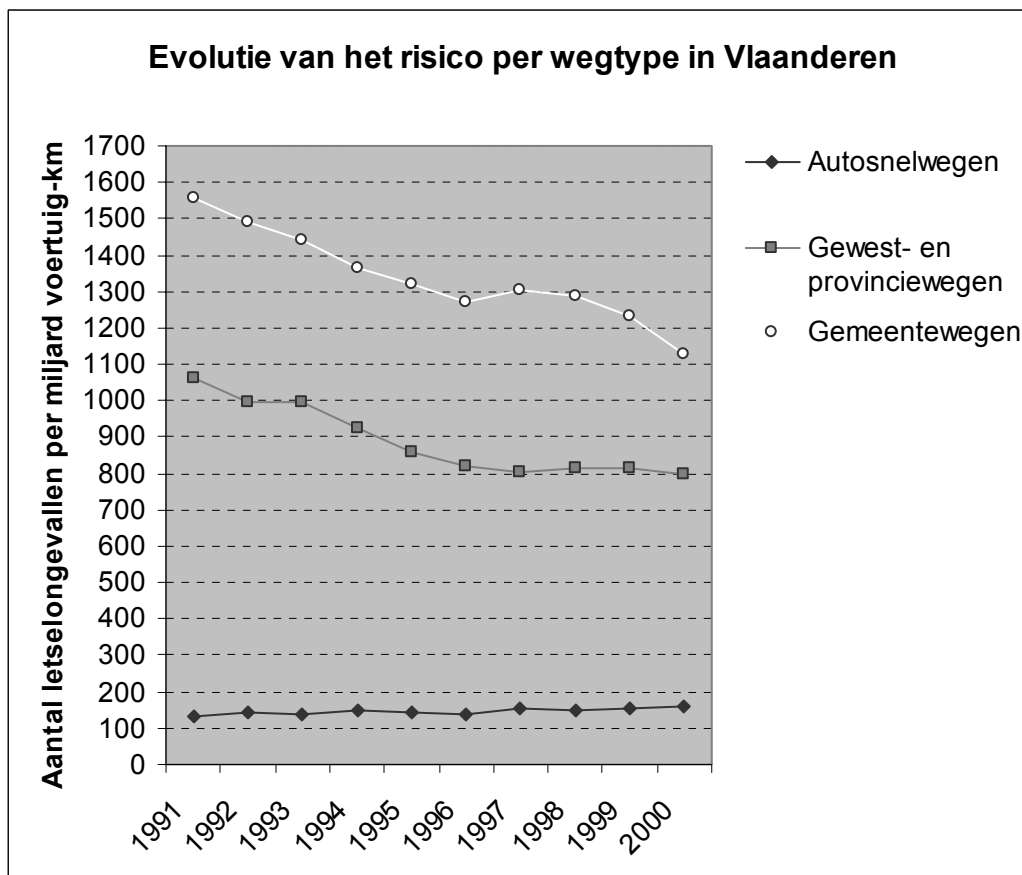
Tabel 1: Vergelijking van de verkeersveiligheid in 2000 in Vlaanderen op het totale wegennet en op autosnelwegen

Bron: NIS/BIVV, 2001 en FOD, 2002

In 2000 werden in Vlaanderen op autosnelwegen 3049 letselongevallen geregistreerd, of 9,26% van het totale aantal ongevallen in Vlaanderen. Daarbij vielen 143 doden 30 dagen. Dit is 16,42% van het totale aantal doden 30 dagen en zelfs 22,59% van de overleden bestuurders en passagiers van motorvoertuigen.

De ernst van de ongevallen is groter op autosnelwegen dan op andere wegen. Op het totale Vlaamse wegennet vielen in 2000 gemiddeld 26 doden 30 dagen per 1000 ongevallen. Op de autosnelwegen zijn dat er 47 per 1000 ongevallen.

Het 'verkeersrisico' op een ongeval, uitgedrukt in aantal ongevallen per miljard afgelegde voertuigkilometer, is veel lager op autosnelwegen dan op andere wegen. Maar omdat er op deze wegen veel verkeer verwerkt wordt op een beperkte ruimte, is het 'wegrisico' van autosnelwegen uitgedrukt in aantal ongevallen per 100 km weglengte er veel hoger dan op andere wegen. Dit maakt dat infrastructuurmaatregelen er zeer effectief kunnen zijn.



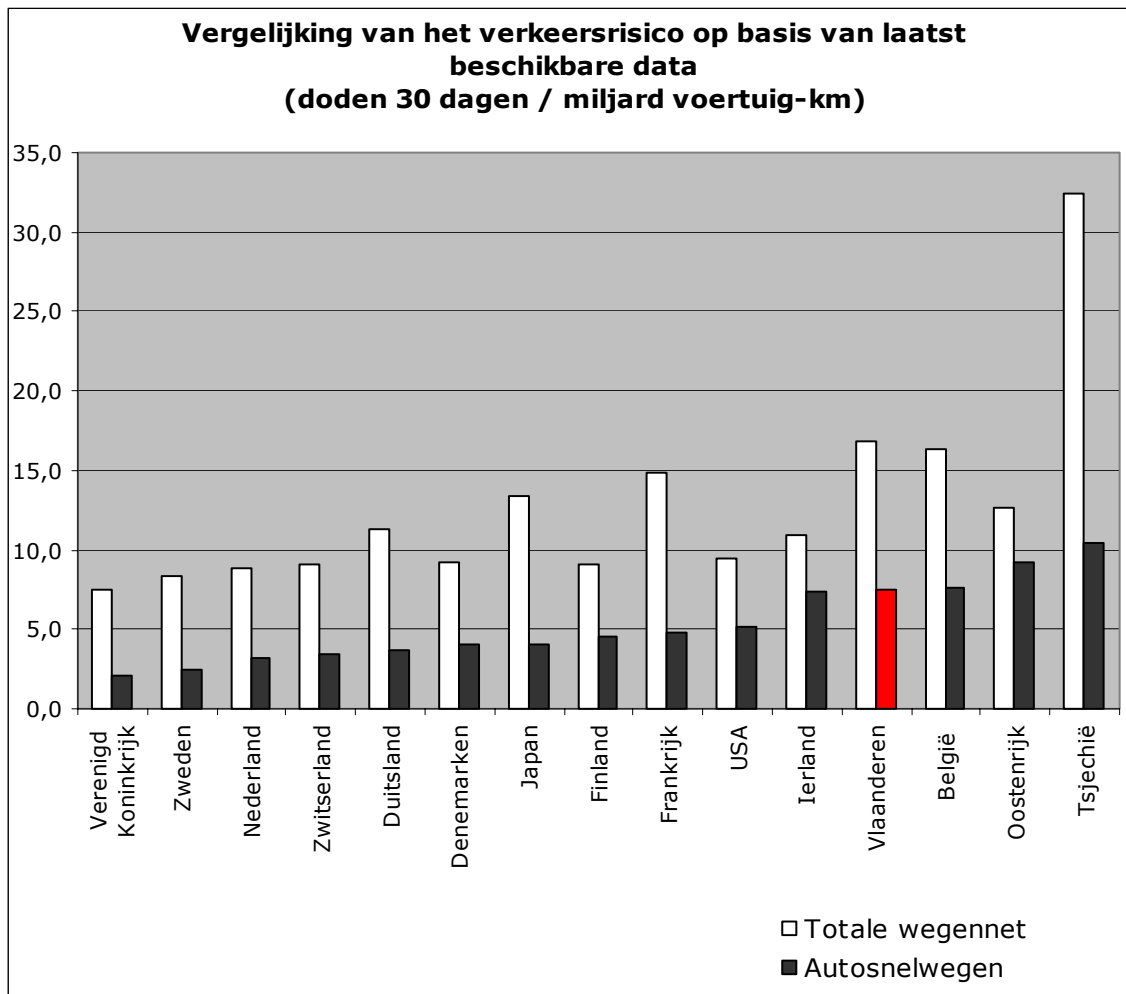
Figuur 1: Evolutie van het risico per wegtype in Vlaanderen

Bron: NIS/BIVV, 2001 en FOD, 2002

Wanneer we kijken naar de evolutie van het 'verkeersrisico' op de verschillende wegtypen, zien we dat het aantal ongevallen per miljard afgelegde voertuigkilometer op gewest- en provinciewegen duidelijk afneemt. Ook op gemeentewegen kunnen we een dalende trend vaststellen. Het verkeersrisico op autosnelwegen echter is lichtjes gestegen in de periode 1991 - 2000.

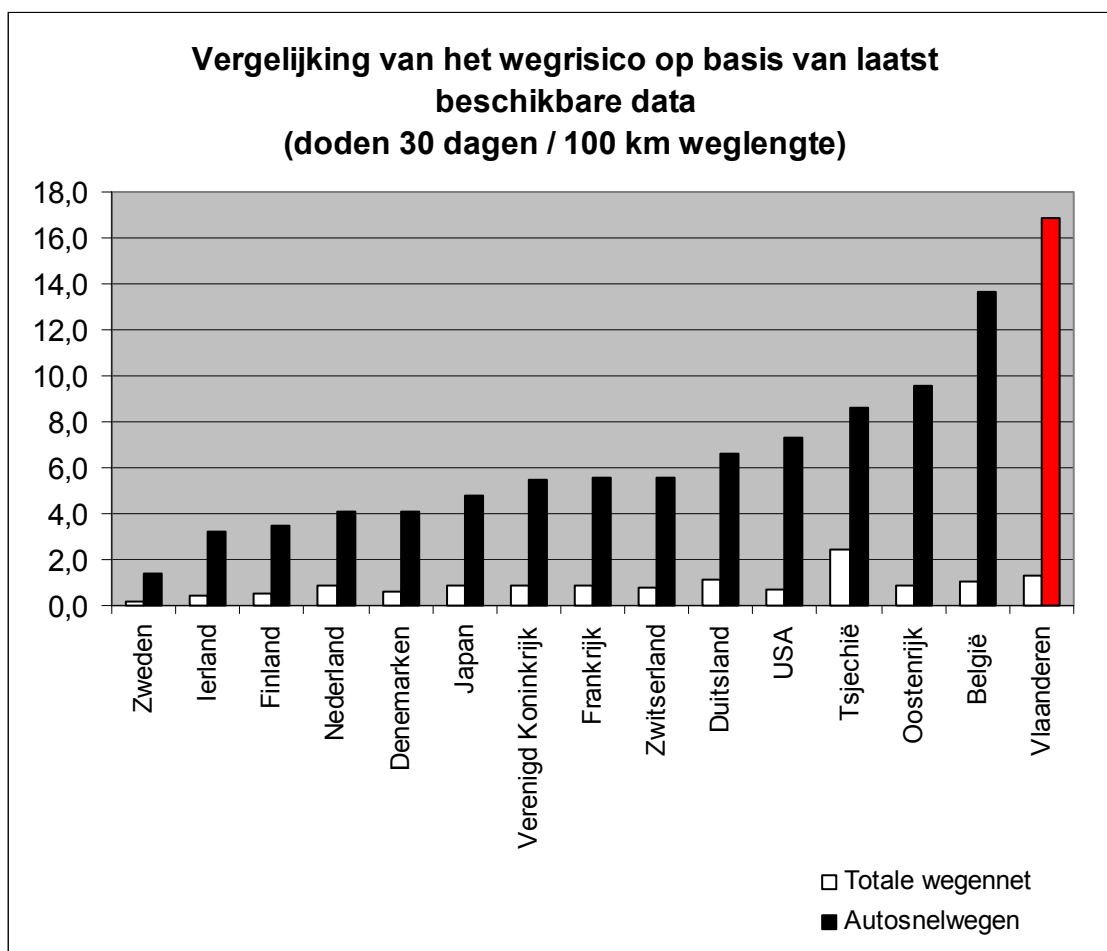
Op 23 oktober 2003 berichtte de media dat het aantal ongevallen op autosnelwegen sterk gedaald is volgens gegevens van de federale politie. Tussen september 2002 en september 2003 gebeurden er ongeveer 15% minder ongevallen met gewonden dan een jaar ervoor. Er waren 8% minder doden en 20% minder zwaar gewonden. Volgens de federale politie komt dat door de strenge controle (Knack 44, 2003). Er zijn nog geen officiële NIS-statistieken die dit bericht kunnen bevestigen.

In andere landen heeft men eveneens al vastgesteld dat snelheidscontroles het aantal ongevallen met 10% tot 40% kan verminderen, en het aantal slachtoffers met 20% tot 60% (Gaines et al. 2003, Keall et al. 2001).



Figuur 2: Vergelijking van het verkeersrisico

*Bron: IRTAD, 2003 (België en buitenland);
NIS/BIVV, 2001 en FOD, 2002 (Vlaanderen)*



Figuur 3: Vergelijking van het wegrisico in 2001

*Bron: IRTAD, 2003 (België en buitenland);
NIS/BIVV, 2001 en FOD, 2002 (Vlaanderen)*

De vergelijking van de onveiligheid van de Vlaamse autosnelwegen met het buitenland, is gebaseerd op de beschikbare gegevens in IRTAD, de International Road Traffic and Accident Database, beheerd door BAST onder toezicht van het OECD.

Hier wordt duidelijk dat het verkeersrisico, uitgedrukt in aantal doden 30 dagen per miljard afgelegde voertuigkilometer, op Vlaamse autosnelwegen hoog is in vergelijking met vele andere landen en zelfs dubbel zo groot als in de ons omringende landen (7,5 in Vlaanderen tegenover 3,2 in Nederland, 3,7 in Duitsland en 4,8 in Frankrijk).

Het wegrisico op Vlaamse autosnelwegen uitgedrukt in aantal doden 30 dagen per 100 km weglengte is in deze vergelijking zelfs het hoogst van alle landen. Vlaanderen scoort met 16,9 doden per 100 km autosnelweg vier keer slechter dan Nederland (4,1) en ongeveer drie keer slechter dan Duitsland (5,5) en Frankrijk (6,6).

Uit de hierboven aangehaalde gegevens blijkt duidelijk de noodzaak om de onveiligheid op autosnelwegen verder te bestuderen.

1.4 Werkwijze van het literatuuroverzicht

We hebben ons voor zover mogelijk gebaseerd op literatuuroverzichten. Als we informatie gebruiken uit deze overzichten, dan verwijzen we ook naar die overzichten, en niet naar alle afzonderlijke oorspronkelijke artikels. Op zich zijn deze verwijzingen een sterker argument, omdat ze impliciet naar een aantal publicaties verwijzen, en niet naar één enkel resultaat. Sommige documenten, zoals niet in tijdschriften gepubliceerde rapporten van Amerikaanse instellingen, zijn niet of nauwelijks te bekomen. In dit geval verwijzen we naar het artikel waarin het rapport geciteerd werd. Aangezien de inzichten in de effecten van de infrastructuur de laatste 20 jaar toch wel gewijzigd zijn, hebben we literatuur van voor 1980 niet opgenomen in de tekst.

Het Europese onderzoeksprogramma 'Safestar' heeft onderzoek gedaan naar de veiligheidsaspecten van de weginfrastructuur. Het onderzoek is uitgevoerd in Finland, Zweden, Denemarken, Nederland, Tsjechië, Frankrijk, Portugal en Griekenland. Op basis van dit onderzoek doet Safestar een aantal aanbevelingen voor verschillende wegtypes, waaronder ook autosnelwegen (Safestar 2002). Deze aanbevelingen zijn telkens opgenomen bij het betreffende wegkenmerk.

Zo goed als alle studies die het effect van kenmerken bepalen, vermelden dat de belangrijkste indicator voor het totale aantal ongevallen de verkeersintensiteit is. Dit geldt zowel voor ongevallen in het gewone, 'doorlopende' deel van de autosnelwegen, als voor de ongevallen op en rond de op/afritten.

Intensiteit op zich is geen kenmerk van de infrastructuur. Het is wel een gevolg van de functie en de plaats van de weg in het verkeersnetwerk. Daarom moet de intensiteit als een gegeven randvoorwaarde in het ontwerp beschouwd worden.

2. LENGTEPROFIEL

2.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

Zonder uitgebalanceerde maten en verhoudingen kan het wegbeeld de bestuurder misleiden. Inschattingfouten bij combinaties van verticale en horizontale bogen zorgen er soms voor dat de bestuurder de bocht te snel inrijdt.

Er zijn minimale boogstralen nodig om een gewenste snelheid te kunnen behouden. Voor snelwegen liggen die minimale boogstralen tussen 470m en 4000m. Omgekeerd is er, bv. bij een gegeven boog van een afrit, een maximale snelheid waarmee men deze boog kan nemen. Om te hoge snelheden af te remmen kan men de bestuurder waarschuwen via automatische signalisatie, via dwarsmarkeringen of via toelopende markeringen. Deze laatste hebben een effectiviteit van 0-50%. Een andere manier om in boog en snelheid in evenwicht te brengen is het verhogen van de verkanting. De wagen ligt dan enigszins schuin, en slipt hierdoor minder gemakkelijk in de boog. Een maximale verkanting ligt tussen 5% en 10%.

De helling van een snelweg ligt tussen 0% en 6%. Indien een helling de snelheid van vrachtwagens reduceert met meer dan 15 -20 km/h, dan is het ook vanuit het standpunt van de veiligheid voorzichtig om een extra rijstrook toe te voegen.

Om niet te slippen is er een minimale wrijvingscoëfficiënt van 0.25 - 0.30 nodig. Bij droog weer is dit geen probleem, maar bij nat weer kan de wrijvingscoëfficiënt dalen tot 0.1. Degelijk onderhoud van het wegdek kan tot 54% van de ongevallen bij nat weer voorkomen. Eigenlijk zou een spoordiepte van 6mm reeds aanleiding moeten geven tot wegonderhoud.

Om bij regenweer het water toch weg te laten lopen, is een verkanting van 2%-2.5% nodig. Om het risico van aquaplaning toch nog meer te voorkomen kan men langsgroeven inslijpen. Deze kunnen tot 70% van de ongevallen bij nat weer voorkomen.

2.2 Horizontaal lengteprofiel

2.2.1 De rechtstand

Toepassing van lange rechtstanden in het lengteprofiel van een weg wordt zoveel mogelijk vermeden om een voldoende afwisselende wegbeeld te bereiken. Waar ze niet te vermijden zijn, moet ernaar gestreefd worden de lengte te beperken tot een lengte in meters van 20 X de ontwerpsnelheid (in km/u) (ROA 1993b). Indien mogelijk worden lange rechtstanden vervangen door zeer ruime bogen met boogstralen variërend tussen plus minus 50000 en 200000 meter.

2.2.2 Bochten

Hoe scherper de bocht, hoe groter de kans op ongelukken (Miaou & Lum 1993, DHV 1997, Bauer & Harwood 1998). Bochten in de snelweg, en zeker in de afritten hebben een maximale snelheid waarop de bocht genomen kan worden. De berijdbaarheid van een boog wordt bepaald door de relatie tussen snelheid, boogstraal, wrijving en verkanting. (ROA 1993b).

Minimale bochtstralen voor autosnelwegen liggen tussen 466m en 4000m: 466 - 635m (Neuman 1992), 755m (AASHTO 1994), 900m urban freeways en 1500 rural freeways (Highway Design Manual 2001a), 750 - 4000m (ROA 1993b). Eventueel 350 - 2000m bij 90 km/h (ROA 1993b).

Deze maximale snelheid wordt meestal aangegeven door borden, maar daarom niet altijd toegepast door de bestuurders. De snelheid waarmee men een bocht neemt wordt vaak bepaald door de snelheid waarmee men de bocht inrijdt en niet door de kromming van

de bocht (Puvanachandran 1995). Er zijn een aantal middelen ontwikkeld om overdreven snelheid af te remmen voor de wagen de bocht neemt.

Zeker vrachtwagens die te snel rijden lopen een groot risico om over kop te gaan. Speciale apparaten kunnen vrachtwagens detecteren die te snel rijden en geven dan een waarschuwing aan de vrachtwagenbestuurder (twee verwijzingen in Retting et al. 2000, Baker et al. 2001) via een bord met variabele signalisatie. Deze zijn effectief, maar vrij duur in aanmaak en onderhoud en zijn enkel bruikbaar voor vrachtwagens (Retting et al. 2000).

Een andere mogelijkheid is om dwarse markeringen te maken over de afslagstrook, om zo een illusie van versnelling te genereren, waarop de bestuurder vertraagt. Deze markeringen zijn in zekere mate effectief (getallen niet opgegeven, twee verwijzingen in Retting et al. 2000).

Een derde mogelijkheid is het gebruik van naar elkaar toelopende markeringen op de rijstrook (Retting et al 2000, en één verwijzing in Retting et al 2000). Hierdoor wordt de ruimte die de bestuurder mag gebruiken kleiner, terwijl het verharde deel van de weg niet kleiner wordt. De bestuurder heeft de neiging om te vertragen, maar als het mis loopt heeft hij nog steeds even veel ruimte om te proberen het ongeval nog te voorkomen. Het aantal snelheidsovertredingen daalde na het plaatsen van de markeringen met 0% - 50%, en meer uitgesproken voor vrachtwagens dan voor personenwagens (Retting et al 2000).

Hoewel al deze maatregelen in zekere mate effectief zijn, pleiten Retting et al. toch voor echte infrastructuuroplossingen: enerzijds de bochten niet te scherp maken, en anderzijds verkanting (dit is de helling van de weg in dwarsprofiel) gebruiken om het slipgevaar te voorkomen.

Ter voorkoming van ongewenst kleine stralen in horizontale bogen wordt voor de hoofdrijbanen een verkantingsmaximum van 5% - 10% aangehouden (Highway Design Manual 2001a, ROA 1993b). Een negatieve verkanting in een boog is zeker nooit gewenst (Retting et al. 2000), want dit verhoogt de kans op slippen.

2.2.3 Overbreedte

Bij krappe bogen (boogstraal 300m of minder) die veelal worden toegepast in verbindingswegen of bij op- en afritten, is bochtverbreding (= overbreedte) noodzakelijk (Highway Design Manual 2001a, ROA 1993b). Het voertuig heeft in die bogen meer plaats nodig, omdat de achterwielen dan een meer naar binnen gelegen baan beschrijven dan de voorwielen. Op 1 à 2 centimeters na komt de overbreedte in ROA (1993b) overeen met $40.5/R$, met R de boogstraal.

De overbreedte wordt aangebracht aan de binnenzijde van elke rijstrook. De overgangsboog wordt benut om deze verbreding geleidelijk te laten verlopen zodat bij het begin van de cirkelboog de benodigde breedte volledig aanwezig is.

2.3 Verticaal lengteprofiel

2.3.1 De langshelling

Maximale hellingspercentages worden soms gegeven bij verschillende ontwerpsnelheden en soms bij het type terrein. In Vlaanderen heeft men als verband tussen beiden dat de basissnelheid van een vlakke streek 120 km/h is, van een weinig heuvelachtige streek 100 km/h en een erg heuvelachtige streek 80 km/h (Ministerie van Openbare Werken 1981).

Maximale helling bij een vlakke streek of 120 km/h is 2 - 3%, in een heuvelachtige streek of 90 km/h 4-5% en in een bergachtige streek 6% (ROA 1993b, Highway Design Manual 2001a)

In verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen zijn lage hellingspercentages gewenst. Vlakke of slechts flauw hellende weefvakken leiden tot een homogenere snelheidsverdeling. De capaciteit en de veiligheid op de weefvakken zijn daarmee gebaat (ROA 1993b). Anderzijds moet men er voor zorgen dat het verschil in helling tussen op- en afrit en de hoofdstroom zo beperkt mogelijk is. Ook dit leidt tot een homogenere snelheidsverdeling, en dus tot een hogere veiligheid (Highway Design Manual 2001b).

Uit het oogpunt van verkeersveiligheid en capaciteit zullen de snelheidsverschillen tussen vracht- en personenauto's niet te groot mogen worden. De snelheidsreductie van vrachtauto's mag op hellingen in autosnelwegen de 15km/u - 20km/u niet overschrijden (Highway Design Manual 2001a, ROA 1993b). Indien hellingen zodanig gekozen worden dat de snelheidsreductie van (zware) vrachtauto's méér dan 15km/h - 20 km/u bedraagt, kan ten behoeve van de veiligheid en de capaciteit een extra rijstrook toegevoegd worden (Highway Design Manual 2001a, ROA 1993b).

Net zoals voor scherpe bochten, bestaan er ook apparaten die vrachtwagens die te snel een helling afrijden, detecteren en waarschuwen via een bord met variabele signalisatie. Waarschijnlijk omdat de boodschap heel specifiek is en de vrachtwagenbestuurders persoonlijk worden aangesproken (waarschuwing licht enkel op als het én een vrachtwagen betreft, én die te snel rijdt), reageren de bestuurders heel adequaat op de waarschuwing (Baker et al. 2001).

2.4 Constructie

2.4.1 Stroefheid

Verbetering van het wegdek, door te zorgen voor een hogere wrijving en het slipgevaar te verminderen vermindert het aantal ongevallen (29%; ref. in Ogden 1996). Dit is meer uitgesproken bij nat weer (54%) dan bij droog weer (16%).

De toelaatbare minimale wrijvingscoëfficiënt in de langsrichting ligt voor autosnelwegen tussen 0.25 en 0.30 (AASHTO 1994, ROA 1993a, ref. in Ogden 1996). Over alle wegtypes heen ligt de gewenste wrijvingscoëfficiënt tussen 0.30 en 0.75 (ref. in Ogden 1996). De minimale waarden van 0.25 - 0.30 houden er rekening mee dat er slechte bestuurders zijn, evenals onvolkomenheden van de snelweg, de autobanden en de remmen (ref. in Kim, Y.-S. 2002). In werkelijkheid ligt de wrijvingscoëfficiënt rond 0.8 bij droog weer, maar tussen 0.1 en 0.6 bij nat weer (Fortey 1999). Problemen met de wrijving doen zich dus enkel voor bij nat weer.

2.4.2 Vlakheid

De belangrijkste bron van dwarsonvlakheid is spoorvorming. Volgens onderzoek zou men, om aquaplaning te voorkomen, het wegdek moeten onderhouden of vervangen worden als de spoordiepte groter is dan 6 mm (Fortey 1999). In de gevonden richtlijnen voor het onderhoud van autosnelwegen is de toegelaten spoordiepte steeds groter dan deze 6 mm. De maximale toegelaten spoordiepte voor de staat Washington is 10mm (State of Washington 1998), van California 13 mm (Stephens et al. 1998), 17mm in Nederland (ROA 1993a) en 20 mm in Australië (Mihai et al. 2000).

2.4.3 Afvoer regenwater

Op een nat wegdek kan het water het contact tussen band en wegdek geheel of gedeeltelijk verbreken, waardoor de wrijvingscoëfficiënt (sterk) afneemt. Daarom moet de verkanting van het wegdek 2% - 2,5% zijn, zodat het water niet blijft staan op de weg (Highway Design Manual 2001a, ROA 1993b). Eventueel kan 1.5% tot 3%.

Groeven maken is een manier om aquaplaning tegen te gaan. De groeven zorgen voor kleine afvoerwegen, waar het water weg kan als er een auto over rijdt. Hierdoor heeft de wagen meer contact met het echte wegoppervlak, en vermindert de kans op controleverlies van de wagen. Langsgroeven in de lengterichting van de weg

verminderen het aantal ongevallen bij nat wegdek met 70%-75% (een uitgebreide studie in 1978 van 80 projecten; ref. in Siemens Gardner Transportation Systems 2002, en een ref. uit 1990 in Ogden 1996). Groeven hebben wel het nadeel dat motorrijders of bestuurders van kleine wagens een gevoel van onstabielheid kunnen hebben (Siemens Gardner Transportation Systems 2002).

Er is het risico dat water dat in de langsgroeven staat 's winters bevroert, en dat hierdoor de locatie gevaarlijker wordt i.p.v. veiliger. We hebben op het Internet specifiek naar dit probleem gezocht, maar geen enkele referentie bevestigt dit risico. De twee enige referenties die we vonden waarin beide aspecten (langsgroeven en vriezen) behandelen, kwamen uit de wereld van de luchthavens. De Federal Aviation Administration (1997a) waarschuwt in een overzicht heel specifiek voor het risico van bevroerend water op landingsbanen. Maar in datzelfde overzicht pleit ze wel voor langsgroeven op de landingsbaan, omdat bewezen is dat ze het risico van aquaplaning verminderen. In een andere publicatie gaat ze nog verder (Federal Aviation Administration 1997b). Ze vond dat groeven smeltwater helpen af te voeren, en voorkomen dat dit opnieuw bevroert. Er is empirisch bewijs dat groeven de thermische eigenschappen van het wegdek wijzigt, waarschijnlijk door het verminderen van de uitgestraalde warmte, waardoor in groeven er ijs zich minder snel vormt. In de context van bevroering zeggen ze letterlijk: "There do not appear to be any negative effects from grooved pavements". Een vliegtuig is natuurlijk geen wagen, maar deze resultaten argumenteren toch zeker niet dat vriezen het toepassen van langsgroeven moet tegenhouden.

3. DWARSPROFIEL

3.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

Op elke plaats van de snelweg moet er voldoende plaats zijn om te manoeuvreren. Er moet een mogelijkheid zijn om in geval van pech te kunnen parkeren. En als het echt mis gaat, bij slippen of een botsing, moet er ruimte zijn om de schade te kunnen beperken.

Een optimale rijstrook is 3.5m-4m breed. Ongeveer 20-30% van de ongevallen kunnen voorkomen worden indien er een vluchtstrook is, liefst een verharde berm van 4m. Links is er een redresseerstrook van minimaal 0.50m. Best heeft men een heel brede middenberm (18 à 20 m) zonder beveiligingsconstructies, en als dat niet een middenberm van 8 à 10m met beveiligingsconstructies.

In het algemeen verhoogt een vluchtstrook de verkeersveiligheid. Omwille van capaciteitsredenen wordt soms de vluchtstrook of de middenberm vervangen door een rijstrook. Verrassend genoeg leidt dit meestal niet tot veel hogere ongevalsratio's. Men moet dan wel zeker een redresseerstrook en nood-parkingplaatsen voorzien.

3.2 Rijstrook

3.2.1 Breedte van de rijstrook

Omdat het in de praktijk niet mogelijk is om in een kaarsrechte lijn te rijden, moet rekening gehouden worden met de 'vetergang' van een voertuig. Door externe factoren als wind, oneffenheden in het wegdek, ... , wijkt de auto af van de gewenste koers, en is correctie van de rijrichting door de bestuurder nodig. Om deze uitwijkingen mogelijk te maken, moet de er een 'restbreedte' voorzien worden. Uit Oostenrijks onderzoek (ref. in ROA 1993a) blijkt dat de kleinste afwijking van de rechte koers bij personenauto's optreedt bij een restbreedte van 1,10 - 1,60m. Vrachtwagens hebben op grond van hun rijervaring over het algemeen een kleinere restbreedte nodig.

Naast de restbreedte voor vetergang, is er een bepaalde afstand nodig tussen het voertuig en vaste of bewegende voorwerpen op en naast de rijbaan. Deze 'objectafstandsvrees' van de bestuurder is afhankelijk van de rijsnelheid. Op grond van de huidige inzichten en ervaring is de gewenste minimale zijdelingse afstand tot vaste voorwerpen 1,50m bij een ontwerpsnelheid van 120km/u en 1,00m bij een ontwerpsnelheid van 90km/u (ROA 1993a).

Daarom wordt meestal gesteld dat de totale rijstrook minstens 3.5m breed moet zijn¹ (Neuman 1992, ROA 1993a, van der Horst & Kaptein 1998, Safestar 2002). Eventueel 3.25 m bij maximumsnelheden van 90 km/h (ROA 1993a). Bestelwagens en vrachtwagens rijden dubbel zo vaak gedeeltelijk op de vluchtstrook als de weg 3.25m breed is i.p.v. 3.5m. Het absolute minimum voor vrachtwagens is 3.2m (ROA 1993a). De norm in USA is 3.6m (Highway Capacity Manual 2000).

Het literatuuroverzicht van Hauer (2000a) geeft een minder eenduidig beeld: sommige studies vinden dat de breedte verminderen van 12ft naar 11ft (van 3.6m naar 3.3m) geen verschil maakt, andere vinden dat de optimale breedte 4 m is, of dat het effect van de breedte zo ondergeschikt is aan het effect van andere kenmerken, dat wegbreedte uit het model verdwijnt. Hauer zelf concludeert dat wegen breder maken dan 12 ft (3.6m) waarschijnlijk geen effect meer heeft.

¹ Dit is gemeten vanuit de kantstreep. Bij rijbanen die uit twee of meer rijstroken bestaan, worden de rijstroken gemeten inclusief de aanwezige deelstrepen.

3.2.2 Profiel van vrije hoogte

Het hoogte profiel van vrije ruimte is minimaal 4,50m (+ 0,10m voor toekomstige overlagingen). Indien niet zal telkens gefreesd moeten worden) (ROA 1993a).

3.3 Vluchtstrook

De aanleg van een vluchtstrook is voor de verkeersveiligheid van groot belang. Vrijwel alle in dit verband uitgevoerde onderzoeken hebben aangetoond dat de aanwezigheid van een vluchtstrook de kans op verkeersongevallen verkleint. De grootte van het gevonden effect verschilt sterk (indicatie 20 à 30%) (ref. in ROA 1993a).

Een vluchtstrook moet over de gehele lengte van een autosnelweg worden doorgezet, ook langs verbindingswegen, parallelbanen, ... Bij een afrit wordt de vluchtstrook 50m voor het kruispunt met het onderliggende wegennet beëindigd om te voorkomen dat de vluchtstrook als rijstrook gebruikt wordt. Wel dient de berm over deze afstand berijdbaar te zijn voor hulpdiensten. Bij rijbanen met 2X4 of meer rijstroken wordt de vluchtstrook ook aan de linkerzijde aangebracht (ROA 1993a). Volgens de strengste normen is aan de linkerzijde al bij 2X2 rijstroken een halve vluchtstrook gewenst en een volledige vluchtstrook bij 2X3 of meer rijstroken (Highway Design Manual 2001c).

3.3.1 Breedte van de vluchtstrook

De voornaamste veiligheidsfactor van de vluchtstrook is zijn breedte. De breedte van de vluchtstrook kan op verscheidene manieren de verkeersveiligheid beïnvloeden (literatuuroverzicht Hauer 2000b).

- (1:+) Brede vluchtstroken laten toe dat bestuurders die de controle over hun wagen verloren hebben, die controle terug bekomen.
- (2:+) Op brede vluchtstroken kunnen inzittenden van gestrande voertuigen veiliger uitstappen.
- (3:-) Op brede vluchtstroken wordt gemakkelijker gestopt, ook als dat niet strikt noodzakelijk is. Als deze wagens opnieuw vertrekken, verhogen ze de kans op een ongeval.
- (4:-) Brede vluchtstroken worden vaker gebruikt om over te rijden of om voorbij te steken.
- (5:-) Brede vluchtstroken geven het gevoel dat er meer ruimte is op de snelweg, en dat verhoogt de gemiddelde snelheid. Bij de optimale breedte van de vluchtstrook moeten de positieve en negatieve aspecten tegelijkertijd in rekening gebracht worden.

Hauer (2000b) vindt in zijn literatuuroverzicht dat voor autosnelwegen bredere verharde wegbermen (en in Vlaanderen zijn dat dan meestal vluchtstroken) veiliger zijn, en dit tot aan een optimum van ± 4 m. Volgens het principe van de Self Explaining Road bedraagt deze afstand eveneens 4m (van der Horst & Kaptein 1998).

Kleinere, maar ook aanvaarde maten zijn 3.75m verharde wegberm hebben, waarvan minstens 3m vluchtstrook (Safestar 2002), 3.5 m verharde wegberm (Neuman 1992), 3,25 m (ROA 1993a) en 3m (Highway Capacity Manual 2000, "European Agreement on Main International Traffic Arteries"; ref. in ROA 1993a, en absolute minimum volgens Safestar 2002). Maar in de meeste landen is dit nog 2,5 m (Safestar 2002).

De vluchtstrook aan de linkerzijde is bij 2X2 rijstroken best 1,5m breed, en 3m bij 2X3 of meer rijstroken (Highway Design Manual 2001c).

Andere verkeersveilige eigenschappen van de vluchtstrook zijn een goede wegmarkering, degelijk onderhoud van het wegoppervlak en kabeldetectie om aankomend verkeer en politie te waarschuwen dat er een wagen op de vluchtstrook staat (Safestar 2002).

Als bepaalde segmenten van de harde wegberm (vluchtstrook) een groter risico hebben dan gemiddeld, dan moeten deze verbeterd worden door ze breder te maken, door het gebruik van een ribbelstrook (zie ook 7.5 Ribbelstrook) of een verbetering van de verlichting (Safestar 2002).

Aan de zijde(n) waar geen vluchtstrook aanwezig is, moet naast de rijbaan een zo brede ruimte zijn dat daar een gestrand voertuig neergezet kan worden (bergingszone). De benodigde breedte van een bergingszone bedraagt 2,45m (= incl. 0,20m kantstreep) bij een rijbaan met 2 of 3 rijstroken (ROA 1993a).

3.3.2 *Vluchtstrook of middenberm opgeven*

Onder bepaalde omstandigheden, vnl. in "urban freeways", wordt omwille van capaciteitsredenen de vluchtstrook of de middenberm geheel of gedeeltelijk opgegeven, om ruimte te maken voor een rijstrook. Dit gaat soms ook gepaard met versmalling van de rijstrook. Hauer (2000b, literatuuroverzicht) verwijst naar meerdere locaties waar dergelijke aanpassing gebeurde voor een 'urban freeway'. In het algemeen leidden de aanpassingen niet tot een hogere ongevalratio (aantal ongevallen / miljoen voertuigmijl). Er was wel een onduidelijke tendens dat de ernst van de ongevallen zou vergroten. Golob et al. (1990) vinden in hun studie waar een middenberm wordt opgeheven om plaats te maken voor een voorbehouden carpoolstrook, een lichte stijging (2%) van het aantal ongevallen, en geen effect op de ernst van de ongevallen.

Blijkbaar kan congestie dermate groot worden, dat de negatieve effecten van een vluchtstrook/middenberm de noodzaak tot deze vluchtstrook/middenberm opheffen. Het aantal ongevallen hangt dan niet meer af van de aanwezigheid van een vluchtstrook of een middenstrook. Capaciteitsproblemen duren echter niet de ganse dag. Tijdens daluren en 's nachts is er steeds minder verkeer. Intuïtief zouden we dan ook verwachten dat, waar de vluchtstrook of middenberm wordt opgeheven, het aantal of de ernst van de ongevallen tijdens de rustige uren stijgt. De literatuur gaf echter niet voldoende details om dit idee te onderbouwen of te verwerpen.

Men kan hieruit niet concluderen dat vluchtstroken of middenbermen zomaar opgegeven mogen worden. In alle situaties waar een vluchtstrook/middenberm is opgeheven, heeft eerst iemand bewust nagedacht of dit in die situatie verantwoord is; Dat maakt dat alle plaatsen waar de wegbeheerder meende dat dit niet verantwoord was, de vluchtstrook/middenberm ook niet opgeheven is. We zitten hier dus met een erg vertekende steekproef.

Slechts op basis van zwaarwegende argumenten in een kosten-batenanalyse mag een vluchtstrook achterwege gelaten worden (ROA 1993a). Bij afwezigheid van een vluchtstrook over een grote lengte (> 500m) dient rijstrooksignalering met (elektronische) bewaking aangebracht te worden. Er moet dan ook grote aandacht besteed worden aan de overgangsconstructie. Deze moet geleidelijk verlopen, flauwer dan 1:20. In elk geval dient ook een redresseerstrook te worden aangebracht (ROA 1993a) en noodparkeerplaatsen moeten voorzien worden (Highway Design Manual 2001c).

3.4 Redresseerstrook

Een redresseerstrook is de verharde ruimte aan de linkerkant van de linkse rijstrook naast de kantstreep. Deze strook doet dienst als ruimte om uit koers geraakte voertuigen enigszins de kans te geven op een veilige wijze koerscorrecties uit te voeren. (In Vlaanderen wordt dit ook wel 'veiligheidsstrook' of 'kantstrook' genoemd. Deze kan bovendien ook een 'watergreppel' bevatten).

Een globaal vergelijkend onderzoek naar de ongevalsfrequentie op enkele Nederlandse autosnelwegen met een redresseerstrook van verschillende breedten heeft aangetoond dat een breedte van 0,60m niet ongunstiger is dan een breedte van 1,10m (ref. in ROA 1993a). Als redresseerstrook bij 120 km/u is de norm een breedte van 0.60 m (ROA

1993a, Highway Capacity Manual 2000) en bij 90 km/u een breedte van 0.30m (ROA 1993a).

De "European Agreement on Main International Traffic Arteries" (ref. in ROA 1993a) geeft als (minimum)maat voor de redresseerruimte 0,70m (d.i. redresseerstrook incl. kantstreep). Bij een kantstreep van 0.20m is de minimummaat voor de redresseerruimte dan 0.50m.

3.5 Zijberm

3.5.1 Helling van een zijberm

De helling van de wegberm moet beperkt zijn. Als de wegberm van de weg daalt, mag de helling nooit steiler zijn dan 20%, omdat het anders niet mogelijk is om de controle over het stuur te behouden (ROA 1993a, Highway Design Manual 2001c, Safestar 2002). Indien er 5m is om de controle terug te bekomen, is een helling van 20% nog haalbaar. Een helling van slechts 2m mag niet steiler zijn dan 17%. Vanaf een helling van 30% is er een groot risico om overkop te gaan. Bij steilere hellingen worden vangrails aangeraden. Wegbermen die omhoog hellen, mogen een helling hebben tot 50% (ROA 1993a, Safestar 2002).

3.6 Middenberm

3.6.1 Breedte van de middenberm

Middenbermen verminderen de kans dat een wagen op de andere rijrichting komt en hierdoor een ernstig ongeval veroorzaakt met wagens in de tegengestelde rijrichting. Deze ongevallen zijn vaak de ernstigste ongevallen, met de meeste kans op dodelijke slachtoffers. Hoe breder de middenberm, hoe kleiner de kans op een ongeval (Knuiman et al. 1995, Literatuuroverzicht Hauer 2000c).

Best heeft men een heel brede middenberm (18 à 20 m) zonder beveiligingsconstructies (Neuman 1992, ROA 1993a, literatuuroverzicht Hauer 2000c, aanbevelingen Safestar 2002). Maar er zijn steeds beperkingen (plaatsgebrek en/of financiële beperkingen) aan de mogelijke breedte van de middenberm. In dat geval is een middenberm van 8 à 10m optimaal om enerzijds plaats te hebben voor beveiligingsconstructies, een minimale berm voor wegenwerken of een verongelukte auto, plaats voor steunpilaren van bruggen, verlichting en signalisatieborden en anderzijds niet te veel vrije ruimte in te nemen (Neuman 1992).

3.6.2 Middenberm opgeven

Dit aspect is reeds behandeld bij vluchtstroken (zie 3.3 Vluchtstrook).

4. VERKEERSWISSELAARS EN OP- EN AFRITTENCOMPLEXEN

4.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

Een punt waar autosnelwegen samenkomen en waarbij het verkeer kan wisselen van autosnelweg wordt een verkeerswisselaar genoemd. Een kruispunt tussen een autosnelweg en een weg van een lagere categorie wordt een op- en afrittencomplex genoemd.

De turbulentiezones rond verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen zijn de gevaarlijkste wegvakken van de autosnelweg. Dit komt enerzijds doordat daar het meeste van rijstrook veranderd wordt. Anderzijds zijn dit de segmenten waar twee stromen met verschillende snelheid elkaar ontmoeten. In de literatuur worden deze zones geschat tussen 110m en 1600m.

Om voldoende tijd te hebben om veilig van rijstrook te kunnen veranderen, zijn er minimale afstanden vereist. De kleinste minimale afstand (225m) is die tussen een afrit, gevolgd door een oprit. De grootste minimale afstand (3000m) is die tussen een verkeerswisselaar en een op- of afrit.

Uitvoegen gebeurt in principe aan de rechterkant van de rijbaan, langs rechte delen van de hoofdstroom. De uitvoegstrook is even breed als de rijstrook van de hoofdbaan, en heeft een lengte van 100m – 450m. Bij het puntstuk buigt de afrit weg van de hoofdbaan met een hoek van 3° -5°. Deze hoek geeft het afscheiden van de hoofdbaan duidelijk aan, en dwingt bovendien tot afremmen. De rijstrook op de eigenlijke afrit is eveneens zo breed als die van de rijstrook. Dit deel van de afrit is het deceleratiegedeelte. Vertraging wordt o.a. spontaan bekomen indien de helling van de afrit groter is dan die van de hoofdbaan. Ook afrembogen kunnen gebruikt worden. Maar in het algemeen zijn afritten met rechte rijstroken (diamanten) veiliger dan afritten met gebogen rijstroken.

Een oprit ligt ook rechts van de rijbaan. Aangezien dat bij een oprit men moet versnellen om de snelheid van de hoofdbaan te bekomen, zijn rijstroken van een oprit eerder recht dan gebogen, en de helling beter dalend dan stijgend. De toeleidende baan naar de invoegstrook maakt een kleinere hoek dan bij een afrit: 1° - 3°. De invoegstrook is langer dan de uitvoegstrook, best 750m. Net zoals bij een afrit zijn de rijstroken in alle segmenten van het opritcomplex even breed.

Rijstroken die zowel gebruikt worden om af te slaan als om op te rijden heten weefvakken. Aangezien ze de meest complexe delen van de autosnelweg zijn, zijn ze best recht en voldoende lang (minimaal 600m-1500m). De rijstroken zijn er best wat breder.

De op- en afritcomplexen die grotendeels recht zijn zoals 'diamanten', zijn veiliger dan daarna op- en afritcomplexen met bochten, zoals klaverbladen. Linkse op- en afritcomplexen zijn de meest onveilige.

4.2 Turbulente zone op autosnelweg

Doordat ongevallen vaak gebeuren op conflictlocaties, vormen op- en afritten een gevaarlijk deel van de snelwegen. Hoe groter het aantal op- en afritten, hoe groter het aantal ongevallen (Sullivan 1990, DHV 1997, literatuuroverzicht Hauer 2001). 20%-30% van de ongevallen met vrachtwagens gebeuren op of vlakbij op- en afritten, hoewel deze slechts 5% van het snelwegennetwerk vormen (Janson et al. 1998). Het grootste aantal ongevallen doet zich voor bij het op- en afrittencomplex (Janson et al. 1998, Fortey 1999), en/of bij weefgebieden (Fortey 1999)

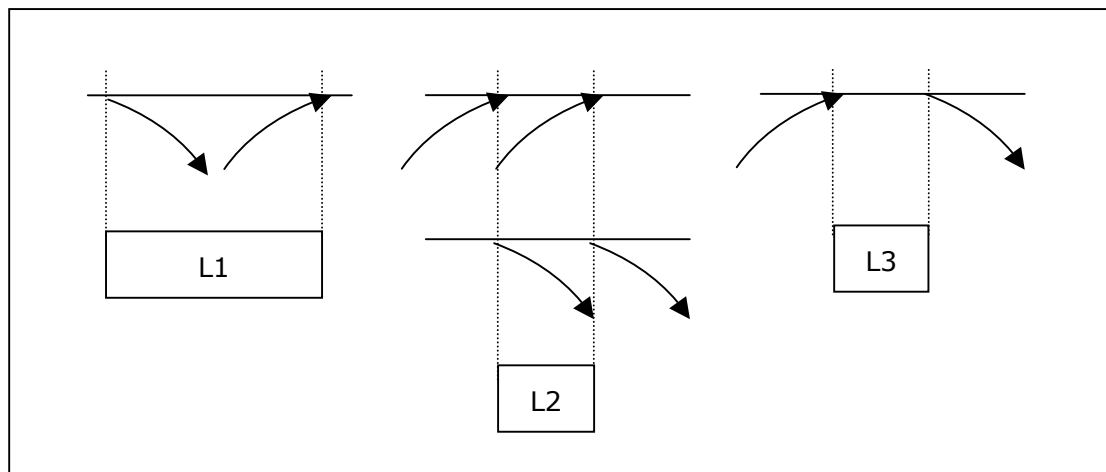
In de zones waar zich een op- of afrit van een op- en afrittencomplex of verkeerswisselaar bevindt, ontstaat er turbulentie op de hoofdweg door in- en

uitvoegende voertuigen. De gehanteerde lengtes van de turbulentiezones variëren, maar liggen tussen 110m en 1600m. In Nederland (ROA 1993b, ROA 1992, DHV 1997) hanteert men asymmetrische lengtes voor het turbulentiegebied. Het turbulentiegebied voor uitvoeging en na invoeging is 750m bij 120 km/h en 550m bij 90km/h, het turbulentiegebied na uitvoeging en voor invoeging is respectievelijk 150 m en 110m. Janson et al. (1998) nemen zowel voor als achter een uitvoeging en een invoeging telkens 375m, de Highway Capacity Manual (2000) neemt 450m. Fortey (1999) geeft als belangrijkste afstand 300m voor het puntstuk van de afrit, en 300 na het einde van de invoegingstrook van de oprit (Fortey 1999), maar merkt op dat de invloed van een afrit kan voelbaar zijn tot op 1.6 km van het begin van de uitvoegstrook (Fortey 1999). Asymmetrische turbulentiegebieden voor en na in- en uitvoeging lijken het meest logische. Want bv. na de invoeging zijn er meer wagens bij betrokken, en bovendien wagens met mogelijk twee verschillende snelheden.

Janson et al. (1998) onderscheiden 4 deellocaties van de oprit/afrit, waarbij andere waarden gehanteerd worden voor de wegvakken met turbulenties:

- (i) op/afrit zelf, weg van de autosnelweg zelf;
- (ii) invoeg/uitvoegstrook + rijstrook naast de snelweg;
- (iii) rijstrook ernaast stroomopwaarts ± 375 m vanaf het begin van de invoeg/uitvoegstrook;
- (iv) rijstrook ernaast, stroomafwaarts ± 375 m vanaf het begin van de invoeg/uitvoegstrook.

Figuur 4 en Tabel 2 geven de veilige en de minimale afstanden tussen opritten en afritten (Neuman 1992), De kortste afstand is mogelijk waar in- en uitgaand verkeer elkaar niet tegenkomen: een afrit gevolgd wordt door een oprit, minimaal nog 150m. De langste afstand is die waarbij in- en uitgaand verkeer door elkaar weven, en waarbij één van deze aansluit op een andere autosnelweg (absolute minimum 600m tussen op- en afrit).



Figuur 4: Afstanden tussen opritten en afritten

Bron: Neuman (1992)

Afstanden in meter	Afrit-oprit L1	Oprit-Oprit L2	Afrit-Afrit L2	Oprit-Afrit L3	Oprit-Verkeerswisselaar Verkeerswisselaar-Afrit L3
Gewenste afstand	225	450	450	600	900
Voldoende afstand	175	350	350	550	750
Absoluut minimum	150	300	300	450	600

Tabel 2: Afstanden tussen op- en afritten

Bron: Neuman (1992)

Tussen twee opritten moet minstens 300 m (Highway Design Manual 2001b), 300-450m (Neuman 1992) tot 450-510m (Fortey 1999) zijn.

Tussen twee afritten moet minstens 300m zijn (Highway Design Manual 2001b) tot 360 – 450 m (Neuman 1992, ref. in Fortey 1999)

De minimale afstand tussen twee op- en afrittencomplexen bedraagt 1.5 km in stedelijke gebieden, en 3 km daarbuiten (Highway Design Manual 2001b). De minimale afstand tussen een verkeerswisselaar en een gewoon op- en afrittencomplex bedraagt 3 km (Highway Design Manual 2001b)

4.3 Verkeerswisselaars

Bij het globale ontwerp van verkeerswisselaars moet er over gewaakt worden dat de vorm als geheel verkeersveilig is. Incomplete verkeerswisselaars kunnen leiden tot ongewenste verkeersbewegingen en/of gedrag (irritatie, "inhalen" van verloren tijd, stoppen op de vluchtstrook,...). Verkeersrichtingen moeten in elk geval paarsgewijs aangebracht worden, vb. verbindingsweg A→B en B→A (Highway Design Manual 2001b, ROA 1993b). Ook bij het combineren van toegepaste elementen moet de veiligheid voortdurend bewaakt worden.

De combinatie verkeerswisselaar en op- en afrittencomplex in één geheel is ongewenst (Highway Design Manual 2001b, ROA 1993b). De verkeersdeelnemer verwacht in een verkeerswisselaar geen afritten. Wordt men er toch mee geconfronteerd dan kan dit negatieve gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid.

4.4 Op- en afrittencomplexen

Zoals bij een verkeerswisselaar speelt de herkenbaarheid van de op- en afritsitueringen een belangrijke rol. Toepassing van een zoveel mogelijk gestandaardiseerde vorm zal in principe tot weinig rijfouten leiden. Deze standaardvorm moet begrijpelijk zijn, en overeenkomen met het richtingsgevoel van de weggebruiker is gewenst. Ook een duidelijke categorieovergang hoort hierbij.

Compleetheit van het op- en afrittencomplex is belangrijk. In elke geval moeten voorzieningen paarsgewijs aangebracht worden ROA (1993b).

Globaal gesteld zijn de veiligste op/afritten de 'diamanten' die grotendeels recht zijn, daarna afritten met een bocht, dan systemen waarbij afritten elkaar kruisen met voorrangregeling, en tenslotte linkse op/afritten (Neuman 1992, uit literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998). Volledige klaverbladen, met in de vier kwadranten afritten, zijn ook minder veilig (Neuman 1992). Janson et al. (1998: studie enkel over vrachtwagens) vinden geen effect van het type op/afrit (diamant, klaverblad,..).

Als er binnen het op- en afrittencomplex nog samenvoegingen zijn van af- of opritten, dan zijn deze een gevaarlijks onderdeel van het systeem zijn (Janson et al. 1998).

4.5 Wegvakken in verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen

In de praktijk blijken (te) grote snelheidsverschillen tussen weggedelen en verkeerswisselaars of op- en afrittencomplexen dikwijls te leiden tot een verminderde verkeersveiligheid. De 'stappentheorie' geeft bij snelheidsafname in een route aan hoe de ontwerper hiermee moet omgaan in verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen. Deze stappentheorie houdt in dat de ontwerpsnelheid van opeenvolgende elementen stapsgewijs afneemt. De overgang in ontwerpsnelheid kan zonder extra voorzieningen plaatsvinden indien de overgang 1 klasse betreft (vb. van 120 naar 90). De weggebruiker wordt dan als het ware 'vanzelf' tot een geleidelijk lagere snelheid gebracht. De standardelementen waarmee één zo een stap gezet kan worden zijn bogen en uitvoegingen.

Indien de overgang in een keer een aantal stappen betreft, zijn compenserende maatregelen vereist omdat die van de weggebruiker nu een nadrukkelijker actie verwacht wordt (ROA 1993b). Die compensatie dient gerealiseerd te worden door een betere zichtbaarheid en een betere herkenbaarheid. Daarom moet extra aandacht besteed worden aan bebakening, verlichting, achtergrond (berminrichting) en landschappelijke inpassing, en de boog dient goed herkenbaar gesitueerd te zijn in het wegbeeld.

4.5.1 Wegvakken in afritten

Omdat bij afritten in alle gevallen een belangrijke snelheidsreductie van het uitvoegende verkeer gevraagd wordt, is goede zichtbaarheid vanaf de hoofdrijbaan een noodzaak.

De rijstrook in een afrit moet even breed zijn als een gewone rijstrook. De vluchtstrook mag smaller zijn (2.4 m op een afrit tegenover 3.0m op de hoofdrijbaan). De redresseerstrook blijft eveneens dezelfde als bij de hoofdrijbaan (Highway Design Manual 2001b).

Het eerste deel van de afrit maakt deel uit van de deceleratielengte, die gedeeltelijk naast het puntstuk ligt. Dit deel accentueert voor de weggebruiker de overgang in ontwerpsnelheid, terwijl het deceleratiegedeelte langs het puntstuk vervolgens voldoende mogelijkheid moet bieden om veilig en rustig te kunnen anticiperen op de daarachter liggende boog met zijn lagere ontwerpsnelheid. Dit laatste deel zou zeker 60 m moeten bedragen (Neuman 1992), en standaard 82m (Highway Design Manual 2001b).

Bij opgaande hellingen in afritten kunnen hogere hellingspercentages worden toegepast (ROA 1993b, Highway Design Manual 2001b). Het is wenselijk dat sterke hellingen (1:100 of steiler) niet voorkomen in dat gedeelte voor de kruising waar voertuigen regelmatig tot stilstand komen (ROA 1993b).

Aangezien de wagens moeten vertragen om op het onderliggende wegennet in te voegen, moeten afritten aanleiding geven tot vertraging. Vertragen kan afgedwongen worden door het aanleggen van een boog. Over het effect van dergelijke afremboog verschillen de meningen. Sommige auteurs vinden dat hoe scherper de *bocht* van de op/afrit, hoe groter de kans op ongelukken (literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998), anderen vinden geen effect van de bocht (Janson et al. 1998: studie enkel over

vrachtwagens), sommigen pleiten voor het gebruik van een boog (ROA 1993b). Een te hoge naderingssnelheid van een afremboog halverwege de afrit zou namelijk minder ernstig zijn dan een te hoge naderingssnelheid van de kruising aan het einde van de afrit. De afloop van een ongeval in de laatste situatie is doorgaans veel ernstiger. De bogen worden in onderlinge samenhang ontworpen, in principe met geleidelijk afnemende ontwerpsnelheid. In of direct na deze boog moet de weggebruiker het gelijkvloerse kruispunt met de niet-autosnelweg kunnen zien.

Uit het oogpunt van verkeersveiligheid en goede verkeersafwikkeling is het gewenst dat de afrit zo wordt ontworpen dat de voertuigen één voor één bij het gelijkvloerse kruispunt met de niet-autosnelweg aankomen. Het ondergeschikte karakter van de afrit moet geaccentueerd worden door toepassing van uitvoeging en niet door splitsingen. Er treedt dan ook capaciteitsreductie op daar waar het gewenst is (na de afrit). Om rechts passeren te voorkomen wordt de vluchtstrook op 50 m voor het einde van de afrit beëindigd. Omwille van capaciteitsredenen een tweestrooks afrit aanleggen, moet uit het oogpunt van verkeersveiligheid worden ontraden (ROA 1993b).

4.5.2 Wegvakken in opritten

De rijstrook in een oprit (het gedeelte dat niet direct grenst aan de autosnelweg) moet even breed zijn als een gewone rijstrook. De vluchtstrook mag smaller zijn, in USA 2.4 m op een afrit tegenover 3.0m op de hoofdrijbaan. De redresseerstrook mag eveneens smaller zijn (0.3m op een afrit tegenover 0.6m op de hoofdrijbaan) (Highway Design Manual 2001b).

Deze wegvakken functioneren als acceleratiewegvak. Daarom moet de oprit zodanig vormgegeven worden dat al direct na het puntstuk (100m) de juiste snelheid bereikt is. Een groot deel van de acceleratielengte moet dus op de oprit aanwezig zijn. Dit gebeurt door toepassing van royale bogen of door voldoende lengte te geven aan het opritgedeelte na de boog. In verband met de acceleratie verdient een dalend tracé van de oprit de voorkeur (ROA 1993b). Maar als de oprit te sterk daalt, maakt dit het invoegen opnieuw moeilijker (Highway Design Manual 2001b).

Situaties waar een krappe boog gesitueerd is na een langere rechtstand in de oprit geven aanleiding tot problemen in de bocht; de snelheden op het rechte gedeelte worden veelal te hoog opgevoerd.

4.6 In- en uitvoegbewegingen

4.6.1 Algemeen: Verkeersveiligheid van in- en uitvoegbewegingen

Het is niet eenduidig of opritten gevaarlijker zijn dan afritten. Soms vindt men dat opritten gevaarlijker zijn, soms dat afritten gevaarlijker zijn (Golob & Recker 1988: afrit gevaarlijker, literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998: afhankelijk van studie tot studie, Janson et al. 1998: oprit gevaarlijker).

Janson et al. (1998) vinden dat voor vrachtwagens opritten gevaarlijker zijn dan afritten, en de invoegstrook bij de oprit is het gevaarlijkste deel van het hele oprit/afrit geheel. Dit geldt zowel voor aantal ongevallen per oprit/afrit als voor aantallen ongevallen per voertuigkilometer op deze oprit/afrit.

Voor alle deellocales van een op- of afrit, is het meest voorkomende type van ongeval een zijdelingse botsing, gevolgd door kop-staart botsingen en tenslotte roll-overs. Als roll-overs voorkomen, is dit meestal op de oprit/afrit zelf. Opnieuw is er geen significant verschil tussen types van opritten/afritten (Janson et al. 1998).

Het effect van verkeersintensiteit op het aantal vrachtwagenongevallen is niet eenduidig. Bij de overgang van lage intensiteit (aantal voertuigen per dag < 3500) naar middelmatige intensiteit (3500 < Aantal voertuigen per dag < 14.000) neemt het aantal ongevallen toe, zeker waar verkeer door elkaar geweven wordt. Nog hogere intensiteit doet deze aantallen niet meer stijgen (Janson et al. 1998). Daar waar het aantal

ongevallen al stijgt, stijgt dit zeker niet evenredig met de intensiteit. Janson et al. vinden dus dat het aantal ongevallen per voertuigkilometer op alle deellocaties daalt bij een stijgende intensiteit.

4.6.2 Extra gevaarlijke op- en afritten identificeren

Janson et al. (1998) vinden dat de belangrijkste variabele i.v.m. verkeersveiligheid van een afrit, de deellocatie is. Maar de deellocatie van een ongeval is vaak minder bekend dan het feit dat een ongeval gebeurde, welk type ongeval er gebeurde (zijwaartse botsing, kop-staart, ..) en bij welk soort oprit/afrit. Daarom geven ze een methodologie die helpt om de meest riskante opritten/afritten te detecteren, zonder de noodzaak om "deellocatie" als variabele in de ongevallendatabank te hebben.

1. Vergelijk het totale aantal ongevallen van meerdere jaren van een oprit/afrit met de verdeling van alle opritten/afritten. Is dit aantal hoger dan een bepaalde grenswaarde, dan is er mogelijk een probleem. Als grenswaarde kan eenvoudigweg het 75%-percentiel genomen worden (eventueel hoger of lager als dit te veel werk of te weinig waarnemingen oplevert). Een meer gesofisticeerde grenswaarde is gebaseerd op een Negatief Binomiaal of Poisson regressie model voor opritten/afritten. In dat geval is de grenswaarde die waarde zodat er maar 5% kans is dat het aantal ongevallen groter is dan die waarde. Vb. stel dat het model zegt dat een type locatie een Poissonverdeling heeft met gemiddelde 1 ongeval per 3 jaar. De kans bij dergelijke verdeling om 2 of meer ongevallen te hebben is 26%, bij 3 of meer is dit 8 %, bij 4 of meer is dit 2%. Strikt gezien is de grenswaarde een getal tussen 3 en 4. In praktijk neemt men 3 als grenswaarde, indien men voorzichtig is, en/of meer tijd en financiën ter beschikking heeft.
2. Vergelijk voor de oprit/afrit ook de aantallen per type ongeval met de verdeling van het type ongevallen van alle opritten/afritten. Indien voor één of meer types het aantal hoger is dan de grenswaarde, kan dit eveneens op een mogelijk probleem duiden. Dit zijn dus meerdere tests: 2a) aantallen voor ongevaltype 1, 2b) aantallen voor ongevaltype 2, ...
3. Vergelijk voor de oprit/afrit ook de aantallen per type ongeval met de verdeling van het type ongevallen van alle vergelijkbare opritten/afritten met vergelijkbare verkeersintensiteit. Indien voor één of meer types het aantal hoger is dan de grenswaarde, kan dit eveneens op een mogelijk probleem duiden. Dit zijn dus eveneens meerdere tests: 3a) aantallen voor ongevaltype 1, 3b) aantallen voor ongevaltype 2, ...

Als 3 of meer resultaten boven de grenswaarden liggen, dan moet men de oprit/afrit in detail bestuderen. Nagaan op welke deellocaties welke type van ongevallen zich hebben voorgedaan. Op basis van deze detailanalyse kunnen dan maatregelen getroffen worden.

Als 2 of minder resultaten boven de grenswaarde liggen, dan kan men eventueel nader onderzoek doen op basis van beschikbare bronnen en beschikbare mankracht en tijd.

4.6.3 Uitvoegingen en uitvoegstrook

Uitvoeging gebeurt in principe alleen aan de rechterzijde van de rijbaan, waarbij gebruik gemaakt kan worden van een uitrijstrook (ROA 1993b, Highway Design Manual 2001b). Linkse afritten zijn zelfs dubbel zo gevaarlijk als rechtse afritten (Fortey 1999, literatuur in Neuman 1992).

Omdat de situering van de uitvoeging niet misleidend mag zijn, wordt deze bij voorkeur ontworpen langs rechte of nagenoeg rechte wegvakken (Highway Design Manual 2001b, ROA 1993b). In gebogen hoofdrijbanen wordt een uitvoegstrook niet ontworpen in de omgeving van bogen naar rechts met stralen kleiner dan 1500m (minimum) of 3000m (standaard), en bij bogen naar links met stralen kleiner dan ca. 4000m (ROA 1993b). Indien er toch een afrit is in een boog, dan moet de afrit eveneens buigen, in dezelfde richting als de hoofdbaan en met ongeveer dezelfde boogstraal (Highway Design Manual

2001b). Op deze wijze blijft de wagen min of meer dezelfde beweging beschrijven bij het afrijden van de autosnelweg. Waar het uitzicht in het gedrang komt, moet een hulp rijstrook aangelegd worden, liefst van 300m, en minimaal 180m (Highway Design Manual 2001b).

Hoe langer de uitvoegstrook, hoe minder ongevallen (uit literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998). De lengte van de uitvoegstrook mag ook weer niet zodanig zijn dat die afwijkende manoeuvres uitlokt, bijvoorbeeld het nog net even inhalen van voertuigen op de uitvoegstrook (ROA 1993b). Fazio et al. (1990) geven een formule waarmee de minimale lengte van de uitvoegstrook berekend kan worden. Voor autosnelwegen in de USA, met een maximale snelheid tot 120 km/h vinden ze een waarde van 100-120m. De normen van de landen verschillen. In de USA mogen de uitvoegstroken verrassend kort zijn: 42m (Highway Capacity Manual 2000, Highway Design Manual 2001b). In de voorbeelden van Amerikaanse uitvoegstroken was deze lengte echter steeds groter dan 42m. In Nederland varieert de lengte van 175 m (90 km/h en 1 uitvoegstrook) tot 450m (120 km/h en 2 uitvoegstroken (ROA 1993b)).

Bredere uitvoegstroken zijn veiliger dan smallere (Bauer & Harwood 1998). De breedte van de invoegstrook bedraagt dezelfde als die van de gewone rijstrook (Highway Design Manual 2001b).

Om de categorieovergang duidelijk te maken dienen afritten over het eerste gedeelte (uitvoeging en afrembocht) in principe slechts met één rijstrook uitgevoerd te worden, al kunnen capaciteitsoverwegingen ook twee rijstroken verantwoorden.

Sommigen vinden een beperkt effect van de helling: een afrit hellingafwaarts is gevaarlijker dan een afrit hellingopwaarts (literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998), anderen vinden geen effect van de helling (Janson et al. 1998: studie enkel over vrachtwagens).

4.6.4 Het spits toelopend gebied bij een afrit: het puntstuk

De herkenbaarheid en zichtbaarheid vereisen een duidelijke zichtbaarheid van de uitvoegende rijbaan. Ter hoogte van het puntstuk dient deze rijbaan daarom onder een hoek van 3° - 5° met de doorgaande rijbaan te liggen (ROA 1993b, Highway Design Manual 2001b). De berijdbaarheid geeft een bovengrens bij een 6°. De ruimte tussen de hoofdbaan en de rijstrook van de afrit. De overgang van de uitvoegstrook naar de uitvoegende rijbaan dient te worden benut voor rijstrookverbreding (gaping maximaal 1m). De opvallendheid van het beslissingspunt wordt daardoor vergroot (ROA 1993b).

Het puntstuk wordt soms afgesloten met een geleiderail. Om het aantal ongevallen met het bord of met de geleiderail te verminderen, kan men nog extra afbakening aanbrengen, zoals reflecterende markeringen op de weg, reflecterende cilinders, voorpaneel, achterpaneel, knipperlichten, chevron richtingspijlen (bochtschild met rode pijl),.... Creasey et al. (1989) vonden dat de combinatie van reflecterende markeringen, reflecterende cilinders, een voor- en een achterpaneel het aantal ongevallen vermindert. Daar bovenop nog chevron richtingspijlen en knipperlichten toevoegen helpt niet meer (Creasey et al. 1989).

4.6.5 Invoegingen en invoegstrook

Opnieuw zijn rechtse opritten de standaard. Linkse opritten hebben 60% hogere ongevalsrisico's dan rechtse opritten (Fortey 1999).

Een invoeging is een convergentiepunt waar een rijbaan, welke meestal een lagere ontwerpnelheid heeft dan de doorgaande rijbaan, wordt ingevoerd in de doorgaande rijbaan. De som van het aantal rijstroken neemt na het convergentiepunt af.

Hoe langer de invoegstrook, hoe minder ongevallen (uit literatuurgedeelte van Bauer & Harwood 1998). Het effect is meer uitgesproken bij invoegstroken dan uitvoegstroken (Bauer & Harwood 1998). Uit veiligheidsoverwegingen zou de lengte van de invoegstrook minimaal 210 - 240m en eigenlijk zelfs 750m lang moeten zijn (ref. in Fortey 1999). In

richtlijnen vinden we minimaal 180 m voor USA (Highway Capacity Manual 2000, Highway Design Manual 2001b) en standaard voor Nederland 350m bij 120 km/u, 265m bij 90 km/u in Nederland (ROA 1993b).

De toeleidende rijbanen van een invoegstrook zijn vooral bedoeld om een voertuig toe te laten zijn snelheid te verhogen, om zo gemakkelijker in te voegen in het verkeer op de autosnelweg. Bij een kleine hoek van 1° à 3° past het invoegende verkeer zijn snelheid beter aan de hoofdstroom (ROA 1993b, Fortey 1999).

Bredere invoegstroken zijn veiliger dan smallere (Bauer & Harwood 1998). De breedte van de invoegstrook bedraagt dezelfde als die van de gewone rijstrook (ROA 1993b, Highway Design Manual 2001b).

4.6.6 *Samenvoeging*

Een samenvoeging is een convergentiepunt waar twee rijbanen waarop ongeveer met dezelfde snelheid wordt gereden, samenkomen. Het verschil met een invoeging is dat bij een invoeging de invoegstrook verdwijnt, terwijl bij een samenvoeging alle rijstroken behouden blijven. Het verschil in ontwerpsnelheid is maximaal 25%. Er hoeven geen voorzieningen getroffen te worden voor het accelereren. Samenvoegingen worden bij voorkeur ontworpen langs rechte of nagenoeg rechte wegvakken (ROA 1993b).

Het verkeer op elk van beide rijbanen moet het verkeer op de andere rijbaan over enige afstand voor het punt van samenkomst kunnen waarnemen. Om deze reden komen de beide rijbanen onder een kleine hoek samen ($\alpha = 2^\circ$) en moeten zij over de laatste 100m (bij 120 km/h) of 75m (bij 90 km/h) recht zijn en dus parallel aan elkaar. Op enige afstand voor het puntstuk heeft elke rijbaan reeds ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid als na het puntstuk. Bij rijbanen met een ontwerpsnelheid van 120 km/u bedraagt deze afstand ten minste 200m, bij 90 km/u ten minste 150m (ROA 1993b).

4.6.7 *Weefvakken*

Wanneer een convergentiepunt op korte afstand gevolgd wordt door een divergentiepunt wordt het tussenliggende wegvak vormgegeven als een weefvak. Omwille van de zichtbaarheid worden weefvakken het best toegepast in (nagenoeg) rechte wegvakken.

De nodige lengte van een weefvak wordt getoetst met behulp van capaciteits-, manoeuvre- en bewegwijzeringeisen. Deze capaciteitstoetsen hebben geen veiligheidscomponent. Het weefvak moet voldoende ruimte bieden voor de meest kritische manoeuvres. Weefvakken die echter de meest kritische manoeuvres niet toelaten, kunnen onmogelijk veilig zijn. De minimale manoeuvre-eisen zijn dus ook een vorm van minimale veiligheidseisen.

Op basis van deze toetsen moet de minimale lengte van een weefstrook minstens 600m zijn –en liefst meer-, met een absoluut minimum van 450 m (Neuman 1992, Leisch 1993). Deze afstand wordt o.a. gerespecteerd in Californië, waar de minimale lengte van een weefstrook 600 - 1500 m bedraagt (Department of Transportation Californië 1995). In Nederland zijn de opgelegde minimale afstanden kleiner: de minimaal gewenste lengte voor rijbanen met twee rijstroken bij 120 km/u is 300m en voor rijbanen met 3 of meer rijstroken is dat 500m (ROA 1993b).

Als een oprit gevolgd wordt door een afrit, dan moet dit deel best een grotere rijstrookbreedte hebben (Leisch 1993).

5. VERLICHTING

5.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

In vergelijking met veel andere landen zijn de Belgische autosnelwegen 's nachts erg goed verlicht. Is deze verlichting noodzakelijk?

Verlichting van autosnelwegen is alleszins effectief. Het kan 15% - 58% van de nachtelijke ongevallen voorkomen.

Op autosnelwegen verlicht men best de op- en afrittencomplexen. Redenen om andere segmenten ook te verlichten zijn een hoge verkeersintensiteit, een complexe verkeerssituatie zoals weefvakken, verlichting in de buurt van de autosnelweg van andere wegen of nabije voorzieningen, een verhoogde onveiligheid door een minder goede infrastructuur.

5.2 Effectiviteit van verlichting

Installatie van verlichting gedurende de ganse nacht kan het aantal nachtelijke ongevallen met 15% (Siemens Gardner Transportation Systems 2002) of zelfs met 46% - 58% (literatuuroverzicht CIE 1992) verminderen, en het aantal nachtelijke slachtoffers met 62% (literatuuroverzicht CIE 1992). Omgekeerd doet een vermindering of het uitschakelen van de verlichting of het aantal nachtelijke ongevallen stijgen (literatuuroverzicht CIE 1992).

In Nederland blijkt echter dat de categorie onverlichte wegen overdag veiliger is dan de categorie verlichte wegen (ROA 1990). Dit kan er op wijzen dat de verlichting inmiddels reeds op de gevaarlijkste plaatsen geïnstalleerd is, en dat het aanbrengen van verlichting op tot nu toe onverlichte wegvakken, niet altijd een grote invloed zal hebben.

5.3 Waar verlichten

In sommige landen, bv. de USA, verlicht men standaard enkel op- en afrittencomplexen, en dan nog enkel als er voldaan is aan een minimale verkeersintensiteit (Traffic Manual 2002b) en verzorgingsplaatsen (ROA 1990, Highway Design Manual 2001d). Maar daarnaast zijn er aantal redenen om nog meer segmenten te verlichten.

De belangrijkste reden om zeker continue te verlichten is een grote verkeersintensiteit (ROA 1990, Siemens Gardner Transportation Systems 2002) en/of een complexe verkeerssituatie zoals weefvakken of rijstrookversmallingen onder een brug (ROA 1990).

Een tweede reden is dat op- en afrittencomplexen die dicht bij elkaar liggen (ROA 1990, Siemens Gardner Transportation Systems 2002). Siemens Gardner Transportation Systems (2002) neemt als norm drie of meer op- en afrittencomplexen die minder dan 2.5 km van elkaar liggen in een voornamelijk stedelijk gebied.

Een derde reden is dat er verlichting in de buurt van de autosnelweg is, hetzij van een goed uitgewerkt lokaal wegennetwerk, een serie van voorzieningen (residentieel, commercieel, industrieel, ...) met wegen en/of parkings die verlicht zijn, een aantal verlichte straten met onderlinge afstand van 800m of minder kruisen de snelweg (ROA 1990, Siemens Gardner Transportation Systems 2002). Het contrast tussen deze verlichte locaties, en de niet-verlichte rijstrook waarop men rijdt, kan tot ongevallen leiden.

Een vierde reden is dat een verhoogde onveiligheid door een minder goede infrastructuur zeker niet mag verergerd worden door een slecht zicht, en dat er dus verlichting moet aangebracht worden (ROA 1990, Safestar 2002). Deze infrastructuuregreken kunnen zijn:

- te smalle middenberm (breedte < 6m);
- korte afstanden tussen op- en afrittencomplexen;
- bogen met kleine straal ($R < 750$ m);
- versmalde rijstro(o)k(en) (breedte < 3.3 m);
- te smalle of geen vluchtstrook;
- te korte invoegstrook;
- kwaliteit wegverharding;
- slechte afwatering.

Tenslotte kan ook de continuïteit van de verlichting een reden zijn om wegverlichting aan te brengen, om zo een donkere korte zone te vermijden. Daarenboven worden op- en afrittencomplexen en verkeerswisselaars verlicht als de hoofdrijbaan verlicht is (ROA 1990).

Volgens deze eisen zou waarschijnlijk een groot deel van de Vlaamse autosnelwegen verlicht moeten zijn. We hebben een relatief hoge verkeersintensiteit op onze snelwegen, De op- en afritten liggen redelijk dicht bij elkaar. Gezien de dichte bebouwing van Vlaanderen zijn vanaf vele segmenten andere wegen of locaties zichtbaar, die zelf goed verlicht zijn. In dat geval vindt men in de USA ook dat de autosnelweg verlicht moet worden. Maar met deze regels zou men niet het ganse autosnelwegnetwerk in Vlaanderen verlichten.

Het plaatsen van de masten in het dwarsprofiel wordt volgens ROA (1990) bepaald door het profiel van de vrije ruimte, wat betekent dat de masten in de middenberm minstens 1,5m uit de binnenkant van de kantstreep van de naastliggende rijstrook geplaatst moeten worden, en in zijbermen op 1,5m van de rand van de verharding. Aangezien dit niet binnen de obstakelvrije ruimte van 9m valt (zie 6.2) zou er een beveiligingsconstructie voor de verlichtingspalen moeten staan. Afhankelijk van het type verlichting, de lampkeuze, de lichtpunthoogte, de wegdekkluminantie en de het aantal rijstroken, worden tussenafstanden gehanteerd tussen 22,5m en 70

6. VEILIGE INRICHTING VAN BERMEN

6.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

Indien iemand slipt, of bij een ongeval, komen wagens vaak in de berm terecht. Daarom is het nodig om ook de berm veilig in te richten.

De veiligste manier is een obstakelvrije zone van 9 à 10m. Wanneer er toch objecten aanwezig zijn binnen deze zone, dan best objecten die meegeven bij een botsing. Indien dat ook niet kan, wordt pas een beveiligingsconstructie geplaatst.

Zowel betonnen als stalen beveiligingsconstructies kunnen aan de strengste eisen voldoen, en het is dan ook niet beter welk type het beste is. Om koprol te voorkomen zijn beveiligingsconstructies van 1.3m beter dan de huidige van 1.0m.

Beveiligingsconstructies beginnen best 15 – 50m voor het eerste object dat ze afschermen, en eindigen 1.8 – 8m na het laatste object dat ze afschermen.

Om een gevaarlijke botsing met het begin van de beveiligingsconstructies zelf te vermijden, wordt het begin van een stalen vangrail ingegraven, en wordt een betonnen veiligheidsstootband ingeleid met een vangrail of een obstakelbeveiliging.

6.2 Obstakelvrije zones

Hoewel men bij het beveiligen van bermmen vaak automatisch aan bermbeveiligingsconstructies zoals vangrails, stootbanden of botskussens denkt, zijn er nog betere oplossingen voor het beperken van de ernst van ongevallen waarbij men van de weg afraakt. In de eerste plaats is dat de obstakelvrije zone (Safestar 2002, Highway Design Manual 2001c, Traffic Manual 2002a).

Elke zijde van de weg zou een obstakelvrije zone moeten hebben van minstens 9 à 10 meter, om voldoende ruimte te geven om te kunnen remmen (ROA 1989, Neuman 1992, ROA 1993a, DHV 1997, Safestar 2002, Highway Design Manual 2001c). Uit studies is gebleken dat op deze manier bij 80% van de voertuigen het controleverlies over het stuur hersteld kon worden nadat ze van de weg geraakt waren (Highway Traffic Manual, 2002a). DHV (1997) specificeert dat, als het risico bestaat dat auto's op een naastliggende baan terecht komen, er zeker 20 m zijberm nodig is, en dat bij verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen 4.5 – 6 m volstaat. ROA (1989) hanteert een obstakelvrije zone van 6 m bij een snelheid kleiner dan 90 km/u.

In het algemeen moet het gedeelte van de berm binnen de obstakelvrije zone draagkrachtig en voldoende vlak zijn (ROA 1989, Highway Design Manual 2001c). ROA (1989) geeft aan dat een hoogteverschil van maximum 0,07m aanvaardbaar is; grotere hoogteverschillen zijn een gevarenzone en moeten beveiligd worden.

Als obstakelvrije zone is volgens de Highway Design Manual (2001c) een zacht glooiend terrein met hellingen van max. 25% naast de rijbaan ook geschikt. Ook Safestar vermeldt wegbermen met (nog net) veilige hellingen, waarbij de wagen (nog net) vanzelf tot stilstand komt, zonder schade te berokkenen. (Zie ook 3.5.1 *Helling van een zijberm*).

6.3 Botsveiliger maken van obstakels

Een tweede manier om bermen veiliger te maken is het botsveiliger maken van obstakels. Wanneer objecten (vb. verlichting of bewegwijzering) in de obstakelvrije zone niet vermeden kunnen worden of niet verplaatst kunnen worden, zouden ze zo gemaakt moeten worden dat ze meegeven bij een botsing (Safestar 2002, Highway Design Manual 2001c, Traffic Manual 2002a).

Objecten die meegeven, zoals verlichtingspalen met kreukelzones, hoeven niet afgeschermd te worden met beveiligingsconstructies (literatuuroverzicht CIE 1992, Safestar 2002). Want in dat geval is het minder riskant om tegen te paal te botsen, dan tegen een meer massieve beveiligingsconstructie. Soms kunnen beveiligingsconstructies even effectief zijn als verlichtingspalen met kreukelzones (literatuuroverzicht CIE 1992). In CIE (1992) staat ook vermeld dat het risico op botsingen met verlichtingspalen aanzienlijk verkleint met de afstand tot de weg, vanaf een minimum van 3m.

6.4 Beveiligingsconstructies

6.4.1 Toepassing

Indien vaste objecten in de obstakelvrije zone niet vermeden, verplaatst of buigzaam gemaakt kunnen worden, zijn het obstakels die afgeschermd moeten worden met een beveiligingsconstructie (Safestar 2002, Highway Design Manual 2001c, Traffic Manual 2002a). Ook steile hellingen of plaatsen waar frequent ongevallen gebeuren waarbij voertuigen van de weg raken, moeten beveiligd worden met een beveiligingsconstructie (ROA 1989, Highway Design Manual 2001c, Traffic Manual 2002a).

Het woord 'beveiligingsconstructie' wordt gebruikt als een verzamelwoord voor vangrails (of ook wel geleiderails genoemd in Nederland), veiligheidsstootbanden (betonnen beschermingsblokken, ook wel geleidebarrier genoemd in Nederland) en obstakelbeveiligers. Vangrails zijn beveiligingsconstructies die uit een op steunen bevestigde ligger bestaan; een veiligheidsstootband steunt op haar gehele lengte op de bodem (standaardbestek 250 voor de wegenbouw, 2000).

Beveiligingsconstructies moeten voertuigen die van de weg af geraakt zijn geleiden naar een min of meer veilige plaats (Safestar 2002, Traffic Manual 2002a). Hierbij mogen geen andere partijen in gevaar worden gebracht, niet doordat het voertuig in de weg komt van andere voertuigen, noch doordat onderdelen van het voertuig of van de beveiligingsconstructie in het rond vliegen (Safestar 2000).

6.4.2 Keuze van beveiligingsconstructie

Er zijn standaards opgesteld waaraan beveiligingsconstructies moeten voldoen. Zowel flexibele stalen constructies als rigide betonnen constructies kunnen aan de strengste standaards voldoen (Safestar 2002).

Wat de strengste eisen betreft ("very high containment level" = hele grote beheersing van de impact): voor smalle constructies waar weinig plaats is, is beton beter dan staal, voor plaatsen met meer ruimte (> 3m) is staal beter dan beton (Safestar 2002).

Gezien het risico op "roll-over" bij de New Jersey profielen (zie bvb. Perera & Ross 1989) zijn Nederland en het Verenigd Koninkrijk overgeschakeld op steilere profielen. De beschadiging bij het voertuig is daardoor echter groter. Daarom probeert men in Nederland de 'Step barrière' uit. Deze heeft een steil profiel met een afschuining onder aan de zijkanalen.

Bij beveiligingsconstructies van 1 meter hoogte bestaat nog steeds het risico op "roll-over," vanaf 1.30 m is dit risico duidelijk kleiner (Safestar 2002).

De argumentatie leidt niet tot een eenduidige conclusie of stalen dan wel betonnen beveiligingsconstructies veiliger zijn. In Oostenrijk verkiest men betonnen beveiligingsconstructies, in Nederland en de USA stalen, in Duitsland concludeert men dat er vaak weinig verschil is (Safestar 2002; voor Nederland ROA 1989, voor de USA Traffic Manual 2002a). Enkele argumenten:

(beton +): Betonnen beveiligingsconstructies zijn vereisen minder vaak onderhoud, ook na een ongeval. Dit maakt dat er minder (lange) wegwerkzaamheden nodig zijn, die op hun beurt weer een hoog ongevalrisico hebben (Safestar 2002).

(beton +): Bij middenstroken smaller dan 3 m worden ook betonnen beveiligingsconstructies aangeraden (Safestar 2002).

(beton +/-): Verschillende onderzoeken geven verschillende resultaten of de botsing met een stalen dan wel een betonnen beveiligingsconstructie de meeste schade berokkent aan het voertuig en zijn inzittenden (Safestar 2002).

(beton -): Betonnen beveiligingsconstructie hebben meer kans op roll-over (Safestar 2002).

6.4.3 Plaatsing bij obstakels

Indien er in de berm (zowel zij- als middenberm) obstakels staan binnen 10 m van de rijbaan, moet er een vangrail aangebracht worden (ROA 1989, Traffic Manual 2002a).

Als er een vluchtstrook aanwezig is, moet er een bergingzone van minstens 3.0m (Highway Capacity Manual 2000) tot 3,65m (ROA 1989) vrijgehouden worden, en liefst 5m (Highway Capacity Manual 2000). Om mee te kunnen geven bij een botsing, is er achter een object / beveiligingsconstructie een uitbuigruimte tussen 0,3 en 1m, afhankelijk van de stijfheid van de geleiderail. Als de obstakelafstand minder dan 4,05 m is, moet er een veiligheidsstootband geplaatst worden. Indien er geen vluchtstrook aanwezig is, moet de bergingszone minstens 1,5 m (ROA 1989) tot 1.8m (Highway Capacity Manual 2000) zijn. Bij afwezigheid van vluchtstrook en een obstakelafstand kleiner dan 2,4m, moeten ook hier betonnen veiligheidsstootbanden gebruikt worden (ROA 1989).

Geleiderails bij een solitair puntobstakel moeten aangebracht worden van 15m (Traffic Manual 2002a) tot 50m (ROA 1989, DHV 1997) voor en minstens 1.8m (Traffic Manual 2002a) tot 8m (ROA 1989, DHV 1997) na het obstakel (DHV 1997). De lengtes van Traffic Manual zijn de nodige lengtes zonder een geschikt beginstuk.

6.4.4 Discontinuïteiten van beveiligingsconstructies

Onder discontinuïteiten van beveiligingsconstructies worden belangrijke wijzigingen in type, plaats of formaat van de beveiliging verstaan. Vooral beginpunten van vangrails zijn gevaarlijk en daar moet de nodige zorg aan besteed worden (ROA 1989, Traffic Manual 2002a).

In de zijberm worden begin- en eindpunt van een vangrail best gestart onder het maaiveld (ROA 1989, Traffic Manual 2002a). De geleiderail wordt bij voorkeur afgebogen van de rijbaan met maximum 3°. Het startpunt bevindt zich dan bij voorkeur op 10 m van de rijbaan, en ten minste op 5m.

Om te voorkomen dat een voertuig achter de geleiderail geraakt en zo de gevarezone binnentreedt, moet de geleiderail minstens 15m (Traffic Manual 2002a) tot 50m (ROA 1989) voor de zone op hoogte zijn, en minstens 8 m voor deze zone evenwijdig zijn met de rijbaan. Na de gevarezone moet de geleiderail minstens 8 m verder gezet worden.

Indien twee gevarezones (met inbegrip van de begin- en eindzone van 8 m) meer dan 100 m uit elkaar liggen, mag de geleiderail onderbroken worden (ROA 1989).

In smalle middenbermen kunnen begin- en eindpunten niet altijd 5 m uit de kantstreep van de rijbaan worden geplaatst (ROA 1989). Beide vangrails worden dan samengevoegd in het midden van de berm. De twee vangrails mogen bij splitsing of samenvoeging een hoek maken van maximum 3° met de kantstreep.

Beginpunten van een betonnen veiligheidsstootband moet steeds beschermd worden (ROA 1989, Traffic Manual 2002a). Er zijn 3 manieren:

- het begraven van het beginpunt in een afgesneden helling (Traffic Manual 2002a)
- het verlengen van de betonnen veiligheidsstootband onder een helling van maximaal 5% en afbuigend naar een punt buiten de obstakelvrije zone (Traffic Manual 2002a)
- het inleiden met een vangrail of obstakelbeveiliger (Traffic Manual 2002a, ROA 1989).

7. DIVERSEN

7.1 Overzicht van belangrijkste resultaten

Naast alle vorige infrastructuurmaatregelen, zijn er nog een aantal maatregelen en voorzieningen die niet onder één noemer te plaatsen zijn.

Omwille van capaciteitsredenen worden soms voorzieningen aangelegd voor bepaalde verkeerscategorieën (carpoolstroken, HOV-banen..). Een veilige aanleg van dergelijke rijstroken is erg moeilijk.

Om te voorkomen dat de vluchtstrook oneigenlijk gebruikt wordt, voorziet men alle 20 km parkings met toilet, alle 50 à 100 km voorzieningen (zoals tankstation, verkoop drank en eten) en alle 200 km voorzieningen en accommodatie (restaurant, ...).

Aan beide kanten van de snelweg staan praatspalen recht tegenover elkaar op 2 km afstand van elkaar.

Ribbelstroken zijn zeer kostenefficiënt om het aantal run-off-road ongevallen te verminderen. Hun effectiviteit is 20% tot 70%.

Een dynamisch verkeersmanagement van autosnelwegen is ook vanuit onveiligheidstandpunt kostenefficiënt. Het vermindert het totale aantal ongevallen tussen 15% en 25%. Voornamelijk door een vermindering van het aantal secundaire ongevallen (12%-46%) en het aantal kop-staart botsingen (25-30%).

Vanwege het beperkte aantal slachtoffers bij spokerijongevallen zijn zeer kostbare maatregelen niet efficiënt. Bovendien is er eerder een gedragsprobleem van dronken bestuurders, dan een infrastructuurprobleem. Om spookrijden te voorkomen, kan men, naast het gebruik van 'ga terug'-borden, ook op- en afrit visueel beter niet té veel van elkaar scheiden. Dan ziet de spookrijder eventueel het alternatief.

7.2 HOV-stroken

In sommige landen wordt gebruik gemaakt van voorzieningen voor bepaalde verkeerscategorieën op al dan niet bepaalde tijdstippen (vb. carpoolstrook, busbaan of filestrook, in het Engels samengenomen onder de term HOV-lanes: High Occupancy Vehicle lanes). Deze zijn in Vlaanderen momenteel nog niet gangbaar, maar omdat men dit ook hier in de toekomst ook kan overwegen, worden ze hier kort besproken.

7.2.1 Aparte rijstroken / banen met vaste rijrichting

De situering van toe- en uitgangen van de bijzondere rijstroken/banen in de middenberm dient zodanig te zijn dat voor de weggebruiker een goede uitwisseling mogelijk is met de con- en divergentiepunten van de autosnelweg. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de benodigde afstand voor een rijstrookwisseling. Waar de bijzondere rijstrook een aparte op- en afrit heeft, speelt deze situering geen rol. De toegang naar een strook met een vaste rijrichting kan een uitvoeging en een splitsing zijn. De uitgang van een bijzondere strook is een samenvoeging. Het voorkomt dat verkeer op de hoofdrijbaan het andere verkeer onvoldoende toelaat ROA (1993b). Een veilige aanleg van aparte rijstroken is vanuit het standpunt van verkeersveiligheid echter erg moeilijk. Enerzijds wordt deze rijstrook best fysiek gescheiden van de andere rijstroken (Neuman 1992), anderzijds moeten alle gescheiden rijstroken gemakkelijk naar een vluchtstrook kunnen gaan (Neuman 1992). Een oplossing zou zijn om zowel de aparte rijstrook als de gewone hoofdstroom elk een eigen vluchtstrook te geven. In praktijk gaat dit dan meestal ten koste van de breedte van de rijstrook en de vluchtstrook. Iets waarvoor Neuman (1992) opnieuw expliciet waarschuwt als minder verkeersveilig.

Indien de middenberm vervangen wordt door een rijstrook voor bepaalde verkeerscategorieën, dan kan dit de verkeersonveiligheid in beperkte mate verhogen (2%) (Golob & Recker 1988, Golob et al. 1990). De plaats van de ongevallen kan dezelfde blijven, maar kan ook verschuiven naar die plaatsen waar het drukste verkeer is. In feite bepaalt dan de verkeersdruk het aantal ongevallen, en niet de constructie van de rijstrook voor bepaalde verkeerscategorieën (Golob & Recker 1988, Golob et al. 1990).

7.2.2 Wisselstrook

De toegang naar een wisselstrook dient beslist via een uitvoeging te verlopen. Het risico om per ongeluk deze strook op te rijden terwijl die voor tegemoetkomend verkeer open staat wordt daardoor tot een minimum beperkt (ROA 1993b). Daar deze stroken in principe aan de linkerzijde van de rijbaan liggen moet hier een linkse uitvoeging gerealiseerd worden. Gezien de mogelijke veiligheidsproblemen, wordt deze oplossing voor de congestieproblemen zo weinig mogelijk gebruikt (Neuman 1992).

7.3 Faciliteiten naast de weg

Om te voorkomen dat de vluchtstrook oneigenlijk gebruikt wordt, voorziet men alle 20 km parkings met toilet, alle 50 à 100 km voorzieningen (zoals tankstation, verkoop drank en eten) en alle 200 km voorzieningen en accommodatie (restaurant, ...) (Safestar 2002).

7.4 Praatpalen

De onderlinge afstand tussen praatpalen is best 2 km is (ROA 1989, Safestar 2002). Op de daar tussen gelegen afstanden zijn op de hectometerborden indicatoren aangebracht in welke richting de dichtstbijzijnde praatpaal staat. De praatpalen zijn omgeven door verharde plateaus en ingeval de palen achter de geleiderails staan, worden zogenaamde overstapconstructies op de geleiderail aangebracht. Omdat iedere automobilist de praatpaal moet kunnen gebruiken, ook diegene die niet goed ter been is, worden praatpalen bij voorkeur niet achter een geleiderail- of barrier geplaatst (ROA 1989).

Aan beide kanten van de snelweg staan praatpalen recht tegenover elkaar, om te voorkomen dat iemand de snelweg oversteekt in de hoop dat hij zo sneller een noodtelefoon vindt (Safestar 2002).

7.5 Ribbelstrook

Op autosnelwegen worden ribbelstroken vooral gebruikt om de vluchtstrook van de rijstroken te scheiden en worden ze in geprofileerde markeringsmaterialen uitgevoerd.

Ribbelstroken zijn zeer kostenefficiënt om het aantal run-off-road ongevallen te verminderen. Hun effectiviteit is 20% tot 70% (ref. in Siemens Gardner Transportation Systems 2002, FHWA 2001, Nedzesky & Powers 2003, Chen et al. 2003). Het belangrijkste nadeel van ribbelstroken is dat het voor fietsers en motoren de verkeersveiligheid vermindert, indien ze er over moeten rijden (Nedzesky & Powers 2003). Safestar (2002) vermeldt in zijn aanbevelingen expliciet dat ribbelstroken een manier zijn om de onveiligheid van vluchtstroken/harde wegbermen met een verhoogd risico te verbeteren.

7.6 Verkeersmanagement

Wegwerkzaamheden, ongevalfiles, congestiefiles, locale mist en dergelijke hebben met elkaar gemeen dat er op een bepaalde plaats eensklaps trager gereden wordt. De plaats waar dit gebeurt, ligt niet altijd op voorhand vast. Ook niet bij congestiefiles, want de lengte van de file varieert. En zeker bestuurders die niet vertrouwd zijn met de lokale situatie, kunnen de file niet voorspellen. Als gevolg van deze onvoorspelbaarheid rijden wagens te snel op de trager rijdende wagens in, en ontstaan er, soms erg zware, ongevallen.

Buiten de correcte dimensionering van autosnelwegen, kan ook een verkeersmanagementsysteem hier in beperkte mate een oplossing bieden. Dynamisch verkeersmanagement (DVM) is het op basis van actuele gegevens bijsturen van het verkeer en van de vraag naar vervoer naar tijd en plaats door middel van dynamische verkeersbeheersingsmaatregelen en verkeers- en vervoersinformatie. Er bestaat een uitgebreid instrumentarium voor DVM. Dit zijn middelen om data over het verkeer te verzamelen en te bewerken, automatisch werkende apparaten die afhankelijk van de tijd en verkeerscondities beslissingen nemen, apparaten om informatie door te geven en om verkeer aan te sturen. Daarbij gaat het om videocamera's, detectors in de weg, computernetwerken, communicatieapparatuur (Van Zuylen, 2000). Het geheel staat soms onder controle van een verkeersoperatie centrum.

Bij verkeerssignalering wordt het gehele wegvak regelmatig voorzien van detectielussen of camera's waarmee het verkeer volautomatisch en continu wordt bewaakt. Doel is een betere benutting van de capaciteit, het verbeteren van de verkeersveiligheid door informatie en variabele snelheidsaanduiding en het vereenvoudigen van het incidentmanagement.

Afhankelijk van de aangebrachte sensoren kan dit systeem traag rijdend verkeer, mist, storm of mogelijke gladheid automatisch detecteren en dan de weggebruikers en eventueel zelfs de hulpdiensten waarschuwen. Voor wegenwerken, of in andere situaties, kan het systeem ook steeds manueel ingeschakeld worden. Via matrixsignaalgevers die boven de rijstroken van de snelweg aangebracht zijn, kan de maximumsnelheid aangepast worden, kunnen bepaalde rijstroken afgesloten worden, of kan er een algemene waarschuwing zoals "MIST" verschijnen.

Verkeerssignalering sorteert vooral effect bij meer dan 60.000 motorvoertuigen/etmaal op 2X2 autosnelwegen en meer dan 100.000 motorvoertuigen/etmaal op 2X3-strookswegen (ref. in ROA 1993a). Reistijden kunnen aanzienlijk worden gereduceerd, maar de capaciteitsverruiming bedraagt slechts 5%. Tenslotte blijkt dat door het tonen van snelheden de stabiliteit van de verkeersstroom vooral bij hoge intensiteiten aanzienlijk wordt verbeterd.

Een dynamisch verkeersmanagement van autosnelwegen vermindert het totale aantal ongevallen tussen 15% en 25% (Willems 1997, ref. in ROA 1993a, ref. in Tignor et al. 1999, Olmstead 2001). Voor fileongevallen kan het zelfs 46% van de ongevallen voorkomen (Willems 1997). Dergelijk verkeersmanagement vermindert het aantal secundaire ongevallen (ongevallen die ontstaan doordat er eerder een ongeval gebeurde) (12%-46% Bruzon & Master 1997, ref. in Tignor et al. 1999), het aantal kop-staart botsingen (25-30%: Persaud et al 1996, ref. in Tignor et al. 1999, Olmstead 2001) en het aantal zijdelingse botsingen (37% Olmstead 2001). Uitgedrukt in aantal ongevallen per voertuigkilometer, ziet men opnieuw erg overtuigende cijfers: van 19% tot 40% tijdens piekperiodes (literatuuroverzicht in Olmstead 2001).

Bij het naderen van files is het geleidelijk verminderen van de snelheid van het aankomende verkeer waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak van de daling van het aantal ongevallen (Willems 1997).

Automatische signaleringssystemen zijn zeker kostenefficiënt (Olmstead 2001).

Hoewel het systeem op zich reeds effectief is, wil men in het Verenigd Koninkrijk het resultaat nog verbeteren door tegelijkertijd ook onbemande camera's te installeren (Cowling & Dewhurst 2003). Op deze manier geeft men niet enkel de boodschap door, men dwingt de aangepaste snelheid ook effectiever af.

7.7 Spookrijden

de Niet & Blokspoel (2000) vinden: 'Vanwege het beperkte aantal slachtoffers bij spokerijongevallen zijn zeer kostbare maatregelen niet efficiënt. Maatregelen tegen spookrijden moeten eenvoudig zijn, ze moeten vroegtijdig effect hebben en geen hinder voor overig verkeer veroorzaken. 'ga terug'-borden in de middenberm tussen op- en afrit lijken vaak voor bestuurders op de oprit bedoeld te zijn. Door dit valse alarm leren bestuurders de borden te negeren en kan hun effectiviteit verminderen. Het is daarom aan te bevelen om de borden zodanig te plaatsen of af te schermen dat ze niet bedoeld lijken voor verkeer op de oprit. Verder wordt aangeraden (pijl)markeringen op de afrit te plaatsen en een verlengde scheiding tussen de rijrichtingen op de onderliggende weg aan te leggen. Hierdoor worden links afslaande bestuurders naar de oprit geleid en wordt het oprijden van de afrit belemmerd.'

De kans op het oprijden van een afrit is groter, als op- en afrit visueel te goed van elkaar gescheiden zijn (Highway Design Manual 2001b). De bestuurder ziet dan niet dat er een tweede weg is –de oprit- waarop hij eigenlijk had moeten rijden (Highway Design Manual 2001b, Moler 2003). Er bestaan ook reeds sensor en video-informatiesystemen die automatisch een waarschuwing laten oplichten indien een auto de afrit van een autosnelweg oprijdt (Moler 2002).

Bij trompetvormige en "buttonhook" op –en afritten zijn er meer spookrijders dan bij volledige klaverbladen of bij volledige diamanten (Moler 2002).

Hoewel infrastructuuraanpassingen kunnen helpen om spookrijden te voorkomen, is er zeker ook een gedragsprobleem. Tussen 50% en 80% van de ongevallen ten gevolge van spookrijden zijn veroorzaakt door dronken bestuurders (Moler 2002).

8. RICHTCIJFERS UIT DE LITERATUUR

De voorgaande besprekingen kunnen samengevat worden in een aantal richtcijfers. We hebben de resultaten opgesplitst in twee tabellen. Een tabel die gebaseerd is op de algemene literatuur, waaronder een groot aantal wetenschappelijke studies (Tabel 3).

Infrastructuurkenmerk	Richtcijfer	mogelijke alternatieven
Verkanting	2% - 2.5%	1.5% - 10%
Bocht	0°	466 - 4000m
Maximale helling	120 km/u: 2 - 3% 90 km/u: 4 - 5%	
Wrijvingscoëfficiënt langsrichting	> 0.25 - 0.30	
Rijspoordiepte	6 mm	10 - 20 mm
Langsgroeven	aanwezig bij risico op aquaplaning	
Rijstrook breedte	3.5 m	3.3 - 4 m
Vluchtstrook breedte	4 m	3 m tot meer dan 4 m
Redresseerstrook	> 0.50m	(maar geen verschil in effect tussen 0.6m en 1.10m)
Zijberm helling	0°	-20° hellingafwaarts tot + 50° hellingopwaarts
Middenberm breedte zonder veiligheidsbarrières	20 m	
Middenberm breedte met veiligheidsbarrières	10 m	
Afstand afrit-oprit	225m	> 150m
Afstand afrit-afrit	450m	> 300m
Afstand oprit-oprit	450m	> 300m
Afstand oprit-afrit	600- 3000m	> 450m
Afstand oprit- verkeerswisselaar	900 - 3000m	> 600m
Afstand verkeerswisselaar- afrit	900 - 1500m	> 600m
Lengte uitvoegstrook	100-450m	
Lengte invoegstrook	750m	> 210 - 240m

Infrastructuurkenmerk	Richtcijfer	mogelijke alternatieven
Breedte uitvoegstrook	Even breed als rijstrook	
Breedte invoegstrook	Even breed als rijstrook	
Linkse afrit	afwezig	
Linkse oprit	afwezig	
Hoek tussen rijbaan afrit en doorgaande baan	3° - 5°	
Hoek tussen rijbaan oprit en doorgaande baan	2° - 3°	
Lengte weefvak	> 600m	> 450m
type op/afrit	diamant	dan op/afrit met bocht, dan op/afrit kruisend met voorrang, dan linkse op/afrit
Type veiligheidsbarrière	Niet eenduidig	Beton of staal, klassiek New Jersey zeker niet optimaal
Zijberm breedte zonder veiligheidsbarrières	9m	4.5 – 20m, naastliggende baan: 20 m verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen: 4.5- 6 m
Hoogte veiligheidsbarrière	1.30m	1m
Puntobstakels	meegeven, bv. kreukelzones	Stootkussen geleiderails 15-50 m voor tot 1.8 - 8 m na object.
Faciliteiten: parking en toilet	20 km	
Tankstation, verkoop eten, drank	50 – 100km	
Praatpalen	2 km, aan beide zijden van de weg	
Ribbelstrook	aanwezig	
Automatisch signaleringssysteem	aanwezig	
Vluchtstrook links	Liefst vanaf 2X3 rijstroken Zeker vanaf 2X4 rijstroken	

Tabel 3: Samenvatting richtcijfers

We hebben ook enkele richtcijfers gevonden enkel in ROA, waarvan we niet kunnen opmaken of deze ingegeven zijn door wetenschappelijk onderzoek, noch of ze internationaal gedragen worden. Deze cijfers tonen we in een aparte tabel (*Tabel 4*). Richtcijfers uit ROA, die passen in de resultaten van de algemene literatuur, of waarvan in ROA vermeld stond dat ze gebaseerd zijn op onderzoek, zijn opgenomen in Tabel 3.

Infrastructuurkenmerk	richtcijfer ROA	
Praatpalen	niet achter een geleiderail	
Overbreedte	40.5/R	
Vrije hoogte	4.50 – 4.60m	

Tabel 4: Richtcijfers ROA, waarvan niet duidelijk was dat dit ondersteund werd door ander buitenlands onderzoek

9. EFFECTIVITEIT VAN INFRASTRUCTUURMAATREGELEN OP AUTOSNELWEGEN

Van een aantal maatregelen is in de literatuur de effectiviteit gegeven. Deze cijfers maken het mogelijk om in te schatten wat de impact is, indien men deze maatregel ergens wil uitvoeren.

Tabel 5 geeft effectiviteiten die bepaald zijn voor buitenlandse autosnelwegen. Deze cijfers zijn, bij gebrek aan Vlaamse of Belgische cijfers, de best beschikbare voor gebruik in Vlaanderen. Tabel 6 geeft cijfers van wegen waarvan we uit de literatuur concluderen dat het geen autosnelwegen zijn, maar die toch min of meer vergelijkbaar zijn. De cijfers geven hoogstens een indicatie, maar zijn wel richtinggevend.

Maatregel	% vermindering van ongevallen	referentie
Toelopende markeringen bij gevaarlijke afrit	0-50% van ongevallen op afrit	Retting et al. 2000
Verbetering wegdek: hogere wrijving, vermindering slip gevaar	29% van alle ongevallen 16% ongevallen droog weer 54% ongevallen nat weer	ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996)
Langsgroeven	70-75% van nat wegdek ongevallen 72% van nat wegdek ongevallen	ref in Siemens Gardner Transportation Systems (2002) ref. in Ogden (1996)
Management systeem	15-20% van alle ongevallen 20% van alle ongevallen 23% van alle ongevallen 24% van alle ongevallen 25% van alle ongevallen 30% ongevallen piekuur 25% enkel materiële schade 21% ongevallen licht gewonden 19% letselongevallen 10-21% letselongevallen 29% letselongevallen 30% letselongevallen 12% secundaire ongevallen 46% secundaire ongevallen 1-8% geen kop-staart botsing 25% kop-staart botsingen 25-30% kop-staart botsingen 18-29% kop-staart met gewonden	ref in ROA (1992) ref in Tignor et al. (1999) ref in Tignor et al. (1999) Willems (1997) Olmstead (2001) ref. in Olmstead (2001) Olmstead (2001) Olmstead (2001) ref. in Olmstead (2001) Persaud et al. (1995) ref in Tignor et al. (1999) Olmstead (2001) Bruzon & Masters (1997) ref in Tignor et al. (1999) Persaud et al. (1995) Olmstead (2001) ref in Tignor et al. (1999) Persaud et al. (1995)

Maatregel	% vermindering van ongevallen	referentie
	46% van de fileongevallen	Willems (1997)
Aanwezigheid vluchtstrook	10-20% van alle ongevallen	Ref. in ROA 1993a
Plaatsen barrière in middenberm	-14% niet-letsel ongevallen 0% letsel ongevallen 15% dodelijke ongevallen	ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996)
Middenberm vervangen door carpoolstrook	-2% van alle ongevallen	Golob et al. (1990)
Vrachtwagen vluchtafrit	75% van 'op drift geraakte' vrachtwagen ongevallen	ref in Siemens Gardner Transportation Systems (2002)
Linkse afrit	tot - 100% (=dubbel zoveel)	Neuman (1992)
Linkse oprit	tot - 60% (=60% meer ongevallen)	ref in Fortey (1999)
Verlichting installeren	15% nachtelijke ongevallen 46% nachtelijke ongevallen 56% nachtelijke ongevallen 57% nachtelijke ongevallen 58% nachtelijke ongevallen 62% nachtelijke slachtoffers	ref. in Siemens Gardner Transportation Systems (2002) ref. In CIE (1992) ref. In CIE (1992) ref. In CIE (1992) ref. In CIE (1992) ref. In CIE (1992)
Longitudinale ribbelstrook	19 alle ongevallen 37% alle ongevallen 15% - 70% van op drift geraakte wagens 50% van op drift geraakte wagens 18%-51 % bermongevallen 20% bermongevallen 49% bermongevallen 61% bermongevallen 76% bermongevallen 19% bermongevallen met enkel blikshade 42% dodelijke bermongevallen 32% gewonde slachtoffers van bermongevallen	ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996) Nedzesky & Powers (2003) ref in Siemens Gardner Transportation Systems (2002) Chen et al. (2003) ref. in Chen et al. (2003) ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996) ref. in Ogden (1996) Chen et al. (2003) Chen et al. (2003) Chen et al. (2003)

Maatregel	% vermindering van ongevallen	referentie
	48% dodelijke slachtoffers van bermongevallen	Chen et al. (2003)

Tabel 5: Effectiviteit van maatregelen op autosnelwegen

Maatregel	% vermindering van ongevallen	Vergelijking gebaseerd op	referentie
Onbemande camera's	39% van alle ongevallen 62% doden en gewonden	Helpt van de groep waren 96 tot 112 km/h wegen	Gaines et al. (2003)
Onbemande camera's	11% van alle ongevallen ganse regio 22% van alle ongevallen zones met camera 19% doden en gewonden in de ganse regio 29% doden en gewonden in zones met camera	'Open road, 100 km/h'	Keall et al. (2001)
Aanleg brede middenberm	54% alle ongevallen	2 x 2	ref. in Ogden (1996)
Aanleg smalle middenberm met barrière	48% alle ongevallen	2 x 2	ref. in Ogden (1996)
Aanleg smalle middenberm zonder barrière	30% alle ongevallen	2 x 2	ref. in Ogden (1996)

Tabel 6: Effectiviteit van maatregelen op wegen met min of meer vergelijkbare eigenschappen als snelwegen. Cijfers zijn veeleer indicatief voor autosnelwegen

10. DE VLAAMSE SITUATIE

In Vlaanderen worden de normen en richtlijnen voor het ontwerpen van wegen verspreid via omzendbrieven van het Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen. Een aantal van die omzendbrieven zijn vrij oud (1960 – 1980). De ontwerpers volgen deze omzendbrieven, maar in een aantal situaties zijn de richtlijnen niet toereikend. In praktijk gebruiken de ontwerpers dus zeker niet alleen deze omzendbrieven, maar baseren ze zich ook op andere literatuur en op hun eigen ervaring.

Hieronder geven we de belangrijkste normen en richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen uit deze omzendbrieven weer.

10.1 Algemeen

10.1.1 Definitie

“Autosnelwegen zijn wegen welke bij K.B. bij de categorie der autosnelwegen werden ingedeeld. Zij dienen uitsluitend voor de tot het verkeer toegelaten motorvoertuigen welke op horizontale weg de snelheid van 70 km/u kunnen bereiken. Deze voertuigen mogen de autosnelweg slechts op daartoe speciaal bestemde plaatsen in- en uitrijden. De autosnelwegen worden aangegeven door het verkeersbord F5.” (Ministerie van Openbare Werken, 1979).

10.1.2 Ontwerpsnelheid

“Autosnelwegen worden berekend om een basissnelheid toe te laten van 120 km/u (Ministerie van Openbare Werken, 1981)”.

10.1.3 Continuïteit

“De eenvormigheid der wegen van een zelfde net in eenzelfde streek is een onmisbare voorwaarde voor de veiligheid en het gemak van het verkeer”. (Ministerie van Openbare Werken, 1959)

10.1.4 Type autosnelwegen

Mogelijke types van autosnelwegen zijn:

2X4 rijstroken (enkel vermeld in: Ministerie van Openbare Werken, 1959, later niet meer)

2X3 rijstroken, gemiddeld dagelijks verkeer in beide richtingen (T) > 40.000 (Ministerie van Openbare Werken, 1981)

2X2 rijstroken, gemiddeld dagelijks verkeer in beide richtingen (T) 20.000 > T > 40.000 (Ministerie van Openbare Werken, 1981)

10.2 Lengteprofiel

10.2.1 Verkanting

“De verkanting wordt op continue wijze verwezenlijkt vanaf de aanvang der overgangskromme in plan tot aan de aanvang van de cirkelvormige kromme van waaraf de verkanting de volledige waarde heeft” (Ministerie van Openbare Werken, 1959).

10.2.2 Maximale helling en verkanting

(Ministerie van Openbare Werken, 1959) "Helling en verkanting zijn begrensd in functie van de gekozen basissnelheid." Bovendien mogen de maximale helling en de maximale verkanting gegeven door onderstaande tabel *niet* samen verwezenlijkt worden.

Norm	A vlakke streek	B weinig heuvelachtige streek	C sterk heuvelachtige streek
Basissnelheid in km/u	120	100	80
Maximale helling in %	4	5	6
Maximale verkanting in %	3	4	5

Tabel 7: Maximale helling en verkanting

Minimum convexe straal van het lengteprofiel tegen 120km/u = 1.200m (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

10.2.3 Minimale straal in plan voor een horizontale weg

De minimale straal in plan staat in functie van de helling en de verkanting. De norm is afhankelijk van de basissnelheid (Ministerie van Openbare Werken, 1959). "De minimumstraal van het tracé in grondplan die overeenstemt met een maximale verkanting tegen 120 km/u is 1.000m" (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

10.2.4 Overbreedte

"De empirisch aangenomen overbreedte voor bochten met een straal R groter dan 50 meter bedraagt $60/R$; de overbreedte wordt verwaarloosd voor stralen groter dan 300m. De overbreedte wordt verwezenlijkt op continue wijze vanaf de aanvang van de overgangskromme in plan tot aan de aanvang van de cirkelvormige kromme van waarop de overbreedte de volledige waarde heeft" (Ministerie van Openbare Werken, 1959).

10.3 Dwarsprofiel

10.3.1 Type dwarsprofiel

Een typisch dwarsprofiel van een autosnelweg is opgebouwd uit volgende elementen:

- 1 middenberm
- 2 veiligheidsstroken (ook wel kantstroken of watergreppel genoemd)
- 2 rijbanen van 2 of 3 rijstroken
- 2 veiligheidsstroken (vluchtstroken)
- 2 zijbermen (of buitenbermen)

Afwijking van dit type kan enkel mits grondige verantwoording en schriftelijk akkoord van het hoofdbestuur der wegen (Ministerie van Openbare Werken, 1979)

Er bestaat een bijzonder profiel voor een lengtehelling van meer dan 4% (Ministerie van Openbare werken, 1970):

een bijkomende strook van 3,5m is voorzien voor de lengtehellingen:
van meer dan 4% en minstens 500m lang
van meer dan 5% en minstens 350m lang
van 6% en minstens 250m lang

Rem- en versnellingszones zijn voorzien aan de uiteinden van die bijkomende strook.

De norm van 1979 bepaalt een vrije hoogte van 5m over de hele breedte van de rijstroken, en 4,50m boven de zijberm. Vanaf 1981 wordt dit 4,75m over de hele breedte van de weg, waarbij deze hoogte kan toenemen voor wegen die gebruikt worden voor uitzonderlijk vervoer.

10.3.2 Middenberm

a. Breedte

In de norm van 1959 heeft de middenberm zowel voor 2X3 als voor 2X2 autosnelwegen in het type-dwarsprofiel een breedte van 12m. Vanaf 1970 wordt de breedte van de middenberm teruggebracht tot 4,50m, tenzij de autosnelweg wordt aangelegd als 2X2 met mogelijkheid om deze later om te bouwen tot 2X3. De normen van 1978 en 1979 geven een breedte van 3m breed aan. Vanaf 1981 is de middenberm 3,50m.

b. Vangrail

"In de as van de autoweg wordt een vangrail geplaatst. Indien de autoweg aangelegd is met 2X2 rijstroken, met mogelijkheid van 2X3 rijstroken, heeft de middenberm een breedte van 12 m in dat geval is de vangrail facultatief" (Ministerie van Openbare Werken, 1970).

"Wanneer de belangrijkheid van het verkeer dit rechtvaardigt" (Ministerie van Openbare Werken, 1978) of "bij meer dan 10.000 vtg /dag" (Ministerie van Openbare Werken, 1979) zal een dubbele stootband ingewerkt in de beplanting geplaatst worden in de middenberm.

"Een vangrail met dubbel vlak, in metaal of doorlopend beton, wordt geplaatst in het midden van de middenberm. Deze laatste is verhard en de laterale markering van de linker rijstroken wordt erop aangebracht" (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

10.3.3 Veiligheidsstroken

Tussen de middenberm en de rijbaan wordt aan weerszijden van de middenberm een verharde veiligheidsstrook (of kantstrook of watergreppel) voorzien van 1m (Ministerie van Openbare Werken, 1959, 1970). Vanaf 1978 bedraagt de breedte hiervan 0,75m. Vanaf 1981 worden deze veiligheidsstroken niet meer apart vermeld in de norm, maar is er sprake van een verharde middenberm (cfr. Supra).

10.3.4 Rijstroken

Oorspronkelijk was de standaardbreedte voor een rijstrook 3,75m. Vanaf de omzendbrief van 1979 werd een rijstrookbreedte van 3,50m toegestaan voor ringautosnelwegen of penetratieautosnelwegen. Vanaf 1981 geldt overall een standaard rijstrookbreedte van 3,50m.

10.3.5 Vluchtstroken

De richtlijn m.b.t. de breedte van de vluchtstroken is constant gebleven in de tijd: tussen de rijbanen en de buitenberm heeft de vluchtstrook een breedte van 3m waarin eventueel aan de buitenkant een kantstrook of watergreppel van 0,75m begrepen is.

10.3.6 Zijberm

a. Breedte

Tot voor 1981 bedroeg de richtlijn voor de breedte van het horizontale gedeelte van de buitenberm 1,25m. Vanaf 1981 is 0,75m de norm.

b. Verlichting

"Verlichtingspalen worden in de zijbermen geplaatst, teneinde zoveel mogelijk beplantingen in de middenberm te kunnen aanbrengen en het onderhoud te kunnen vergemakkelijken" (Ministerie van Openbare Werken, 1978).

"Verlichtingspalen worden in de buitenberm geplaatst op min 0,5m van de buitenrand van de vluchtstrook, lichtpunthoogte 20m, op tussenafstanden van 60m (te beschouwen als alleenstaande hindernissen). Wanneer toch stootbanden in de buitenberm dienen te worden voorzien, dan worden de verlichtingspalen over de voorgeschreven afstand naar buiten geschoven. Ze mogen eventueel in het talud geplaatst worden" (Ministerie van Openbare Werken, 1979).

"De zijberm bevat een afwateringssysteem, de telefoon- en elektriciteitskabels, de telefoonposten en de eventuele vangrails. Aangezien hier dan al veel zaken bij elkaar liggen, worden de verlichtingspalen verplicht buiten dit gebied geplaatst, in voorkomend geval op de taluds. Verlichtingspalen worden als geïsoleerde hindernissen beschouwd en moeten bijgevolg niet worden beveiligd (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

10.4 Allerlei

10.4.1 *Gabariet van kunstwerken*

"Op de kunstwerken wordt de buitenberm afgeschaft, de binnenberm blijft ongewijzigd" (Ministerie van Openbare Werken, 1978). "De afmeting van de snede loodrecht op de as van de autosnelweg komt overeen met de breedte van het totale verhoogde deel van de autosnelweg (25m) en de veiligheidsvoorzieningen worden ondergebracht in de buitenste rand van 0,75m (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

Onder de kunstwerken blijft de standaardbreedte van de autosnelweg behouden. Indien nodig mag de buitenberm afgeschaft worden en er mag een pijler in de middenberm geplant worden (Ministerie van Openbare Werken, 1978). "De minimale vrije hoogte bedraagt 4,75m. De loodrechte afstand tussen de dagvlakken van pijlers en of landhoofden is gelijk aan de breedte van het platform (25m). In de middenberm mag een pijler worden ingeplant. In dat geval dient deze te worden beschermd door een verbreding aan de basis. De buitenberm van 0,75m wordt vervangen door een verhoogd voetpad van dezelfde breedte (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

10.4.2 *Verharding*

"Twee soorten wegverhardingen komen in aanmerking: gewapende cementbetonverharding (met doorlopende wapening) en koolwaterstofverharding. De veiligheidsstroken, zowel deze van 3m breed als deze van 1m breedte, worden aangelegd in een andere verharding als die van de rijweg teneinde te zorgen voor een betere aanduiding van de door de weggebruikers te volgen weg en voor het volledige gebruik van de breedte van de rijstroken (vooral voor zware vrachtwagens)" (Ministerie van Openbare Werken, 1970).

a. Cementbetonverharding:

Doorlopende dwarshelling van 2%

Oppervlak wordt waterdicht gemaakt (zure emulsie, teer of begrinding)

Rijweg wordt 5 mm hoger aangelegd dan de veiligheidsstroken teneinde voor een vlugge waterafvoer te zorgen. Dit niveauverschil maakt het ook mogelijk de laterale markeringen uit te voeren zonder hinder van het reliëf.

b. Koolwaterstofverharding:

(ook allerlei techn. Uitvoeringsvoorschriften ivm dikte e.d.)

Doorlopende dwarshelling 2%

Rijweg wordt 5mm hoger aangelegd

Vanaf 1981 worden verhardingen in cementbeton voor alle nieuwe wegen buiten de agglomeratie voorgeschreven. "Koolwaterstofverharding is voorbehouden voor wegen binnen de agglomeratie en voor de verbeteringen aan bestaande wegen door overlaging van geringe dikte. Een sectie buiten de agglomeratie gelegen tussen twee KWS-delen zal ook aangelegd worden met KWS" (Ministerie van Openbare Werken, 1981).

De berekeningen van het Ministerie van Openbare Werken (1981) gaan uit van een wrijvingscoëfficiënt van 0.4 - 0.6 voor een droog wegdek, en 0.25 - 0.35 voor een nat wegdek.

10.5 Vergelijking met de richtcijfers uit de literatuur

10.5.1 Vergelijking met internationale richtcijfers

In onderstaande tabel vergelijken we Vlaamse richtlijnen met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben

Infrastructuur-kenmerk	Richtcijfer	mogelijke alternatieven	Huidige Vlaamse richtlijnen
Verkanting	2% - 2.5%	1.5% - 10%	3% - 5%
Bocht	0°	466 - 4000m	1000m
Maximale helling	120 km/u: 2 - 3% 90 km/u: 4 - 5%		120 km/u: 4% 100 km/u: 5% 80 km/u: 6%
Wrijvingscoëfficiënt langsrichting	> 0.25 - 0.30		0.25 - 0.6
Rijspoordiepte	6 mm	10 - 20 mm	
Langsgroeven	aanwezig bij risico op aquaplaning		
Rijstrook breedte	3.5 m	3.3 - 4 m	3.5m
Vluchtstrook breedte	4 m	3 m tot meer dan 4 m	3m, inclusief mogelijk 0.75 m kantsrook of watergreppel
Vluchtstrook links	Liefst vanaf 2X3 rijstroken Zeker vanaf 2X4 rijstroken		

Infrastructuur-kenmerk	Richtcijfer	mogelijke alternatieven	Huidige Vlaamse richtlijnen
Redresseerstrook	> 0.50m	(maar geen verschil in effect tussen 0.6m en 1.10m)	0.75m
Zijberm helling	0°	-20° hellingafwaarts tot + 50° hellingopwaarts	
Middenberm breedte zonder veiligheidsbarrières	20 m		nooit
Middenberm breedte met veiligheidsbarrières	10 m		3.5 m
Afstand afrit-oprit	225m	> 150m	
Afstand afrit-afrit	450m	> 300m	
Afstand oprit-oprit	450m	> 300m	
Afstand oprit-afrit	600- 3000m	> 450m	
Afstand oprit-verkeerswisselaar	900 - 3000m	> 600m	
Afstand verkeerswisselaar-afrit	900 - 1500m	> 600m	
Lengte uitvoegstrook	100-450m		
Lengte invoegstrook	750m	> 210 - 240m	
Breedte uitvoegstrook	Even breed als rijstrook		
Breedte invoegstrook	Even breed als rijstrook		
Linkse afrit	afwezig		
Linkse oprit	afwezig		
Hoek tussen rijbaan afrit en doorgaande baan	3° - 5°		
Hoek tussen rijbaan oprit en doorgaande baan	2° - 3°		
Lengte weefvak	> 600m	> 450m	
type op/afrit	diamant	dan op/afrit met bocht,	

Infrastructuur-kenmerk	Richtcijfer	mogelijke alternatieven	Huidige Vlaamse richtlijnen
		dan op/afrit kruisend met voorrang, dan linkse op/afrit	
Type veiligheidsbarrière	Niet eenduidig	Beton of staal, klassiek New Jersey zeker niet optimaal	
Zijberm breedte zonder veiligheidsbarrières	9m	4.5 – 20m, naastliggende baan: 20 m verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen: 4.5- 6 m	
Hoogte veiligheidsbarrière	1.30m	1m	
Puntobstakels	meegeven, bv. kreukelzones	Stootkussen geleiderails 15-50 m voor tot 1.8 - 8 m na object.	Verlichtingspalen zijn geïsoleerde hindernissen en moeten niet beveiligd worden
Faciliteiten: parking en toilet	20 km		
Tankstation, verkoop eten, drank	50 – 100km		
Praatpalen	2 km, aan beide zijden van de weg		
Ribbelstrook	aanwezig		
Automatisch signaleringssysteem	aanwezig		

Tabel 8: Vergelijking richtcijfers literatuur met Vlaamse situatie

- (+) De toegelaten verkanting in Vlaanderen ligt in de buurt van die van de richtcijfers, en valt zeker binnen de mogelijke alternatieven.
- (+) De bochten volgens de Vlaamse richtlijnen zijn voldoende veilig.
- (±) De Vlaamse richtlijn staan toe dat de hellingen $\pm 1\%$ steiler zijn dan de gevonden richtlijnen.
- (+) De gewenste wrijvingscoëfficiënten in Vlaanderen zijn veilig.
- (+) De Vlaamse richtlijnen over de breedte van de rijstroken komt overeen met het richtcijfer uit de literatuur (3.5 m).

- (±) De breedte van de vluchtstrook is gelijk aan het minimale alternatief (3 m). In Vlaanderen kan er in principe nog 75 cm verloren gaan naar de kantstrook en de watergreppel. In geval van nood kan men daar nog op stilstaan, maar de ruimte wordt toch wel beperkt.
- (+) Een redresseerstrook van 0.75m is groter dan 0.5m, en dus conform de literatuur.
- (-) In de loop de jaren hebben de Vlaamse richtlijnen over de breedte van de middenberm gevarieerd van 3m tot 12m. De huidige richtlijn vraagt 3.5m. Dit is veel minder dan wat 10 m middenberm uit de literatuur.
- (+) De huidige Vlaamse richtlijn stelt dat middenbermen altijd een vangrail moeten hebben. Dat komt overeen met de internationale richtcijfers, die zeggen dat vangrails in de middenberm weggelaten mogen worden vanaf 20 m middenbermbreedte.
- (-) Verlichtingspalen worden beschouwd als geïsoleerde hindernissen, en moeten niet beveiligd worden. De literatuur zegt dat voldoende massieve objecten die niet meegeven, best beveiligd worden met geleiderails.

10.5.2 *Vergelijking met extra richtcijfers ROA*

De richtcijfers uit ROA, waarvan we niet kunnen opmaken of deze ingegeven zijn door wetenschappelijk onderzoek, noch of ze internationaal gedragen worden waren aangegeven in *Tabel 4*. Deze cijfers vergelijken we eveneens met de richtlijnen uit de omzendbrieven.

Infrastructuurkenmerk	richtcijfer ROA	Huidige Vlaamse richtlijnen
Praatpalen	niet achter een vangrail	
Overbreedte	40.5/R	60/R
Vrije hoogte	4.50 – 4.60m	4.75m

Tabel 9: Vergelijking richtcijfers ROA met Vlaamse situatie

- (?) Er is geen Vlaamse richtlijn over het plaatsen van een vangrail bij de praatpalen. Maar de richtlijn uit ROA, dat praatpalen niet achter een vangrail moeten staan, komt zeker niet overeen met de Vlaamse praktijk. Op het eerste zicht lijkt het veiliger om praatpalen achter de vangrail te plaatsen, zodat de personen die telefoneren beschermd zijn. ROA argumenteert dat iedere automobilist de praatpaal moet kunnen gebruiken, ook diegene die niet goed ter been is. Daarom worden praatpalen bij voorkeur niet achter een geleiderail- of barrier geplaatst. In praktijk is het echter best mogelijk om een opening te laten in de vangrail, en achter de vangrail een korte 'weg' van 1 à 2 meter te maken naar de praatpaal. Hierdoor kan men wel bij de praatpaal komen, terwijl die toch achter een vangrail staat. Deze discussie verdient zeker nader onderzoek.
- (?) De vorm van het verband tussen de overbreedte en de boogstraal is dezelfde: overbreedte =60/R en overbreedte =40.5/R. De overbreedte in Vlaanderen is echter anderhalve keer zo groot als het richtcijfer uit ROA. Meer ruimte in de bocht kan veiliger omdat het anticipeert op een foute inschatting van de bestuurder en er op die manier ruimte blijft voor correctie. Anderzijds kan een te ruim

gedimensioneerde bocht ook leiden tot inschattingsfouten. In het algemeen geldt immers dat een brede rijstrook aanleiding kan geven tot snel rijden, wat bijgevolg in een bocht problemen kan opleveren (Hauer, ROA 1993b).

- (+) De voorgeschreven vrije hoogte is in Vlaanderen (4.75m) is hoger dan de voorgeschreven hoogte in Nederland.

10.5.3 *Vergelijking met ideeën, waarvoor geen richtcijfers waren*

Tenslotte is er nog een Vlaamse norm die overeenkomt met een idee uit de literatuur, maar waarvoor we geen richtcijfers hebben.

- (+) Zowel de internationale literatuur als de Vlaamse normen geven aan dat, indien de helling te steil wordt, er een extra rijstrook aan toegevoegd moet worden. De Vlaamse formulering, uitgedrukt in percentage helling en lengte van die helling, is meer operationeel dan de omschrijving 'dat een helling de snelheid van vrachtwagens reduceert met meer dan 15 -20 km/h'.

10.5.4 *Conclusie vergelijkingen*

De richtlijnen zijn vrij beperkt. Dat wil echter niet zeggen dat de uitwerking in het werkveld daarom even beperkt is. De literatuur raadt bv. het gebruik van ribbelstroken aan, terwijl de richtlijnen daar niets over zeggen. Nochtans zijn er vele plaatsen in Vlaanderen waar er ribbelstroken liggen tussen de rechterrijstrook en de vluchtstrook. De vergelijking van de richtcijfers met de opgemeten data zal echter uitgewerkt worden in een volgend rapport.

De meeste richtlijnen die we konden vergelijken, zijn conform met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben. Er zijn echter drie richtlijnen die verbeterd kunnen worden.

- Als richtlijn een vluchtstrookbreedte van 3m, met eventueel 0.75m voor kantsstrook en watergreppel is beperkt. 4 m zou een veiliger richtlijn zijn.
- Als richtlijn een middenbermbreedte van 3.5 m is erg beperkt. De literatuur raadt 10 m aan.
- Verlichtingspalen worden beschouwd als geïsoleerde hindernissen, en moeten niet beveiligd worden. De literatuur zegt dat voldoende massieve objecten die niet meegeven, best beveiligd worden met geleiderails

11. CONCLUSIE EN BELEIDSAANBEVELINGEN

11.1 Conclusies en aanbevelingen over de richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen

De Vlaamse richtlijnen over de aanleg van de autosnelwegen zijn beperkt in omvang, en verouderd. De jongste richtlijn dateert van 1981. Deze richtlijnen zouden up to date gemaakt moeten worden.

De meeste richtlijnen die we konden vergelijken, zijn conform met de richtcijfers die we in de literatuur gevonden hebben. Er zijn echter drie richtlijnen die verbeterd kunnen worden.

- Als richtlijn een vluchtstrookbreedte van 3m, met eventueel 0.75m voor kantsstrook en watergreppel is beperkt. 4 m zou een veiliger richtlijn zijn.
- Als richtlijn een middenbermbreedte van 3.5 m is erg beperkt. De literatuur raadt 10 m aan.
- Verlichtingspalen worden beschouwd als geïsoleerde hindernissen, en moeten niet beveiligd worden. De literatuur zegt dat voldoende massieve objecten die niet meegeven, best beveiligd worden met geleiderails

11.2 Overzicht van de aanbevolen maatregelen op basis van de literatuur

In de literatuur vinden we een aantal maatregelen die in andere landen hun effect op de veiligheid van autosnelwegen bewezen hebben. Voor een groot aantal hiervan is het ook realistisch om ze in Vlaanderen in te voeren.

- *Langsgroeven* bij risico op aquaplaning bij risico op aquaplaning reduceert het aantal ongevallen bij nat wegdek met 70%.
- Een *wegdek met een grote wrijving* kan 54% van de ongevallen voorkomen bij nat wegdek.
- Aanwezigheid van een *vluchtstrook* voorkomt 10-20% van de ongevallen.
- Een *automatisch managementsysteem* vermijdt 15-25% van de ongevallen, en 20-46% van de kop-staart en secundaire botsingen.
- *Veiligheidsbarrières in de middenberm* kunnen niet-letselongevallen met 14% doen stijgen, maar verminderen het aantal dodelijke ongevallen met 15%.
- *Linkse afritten* moeten vermeden worden, aangezien ze dubbel zo gevaarlijk zijn als andere. *Linkse opritten* moeten vermeden worden, aangezien ze anderhalve keer zo gevaarlijk zijn als andere.
- Degelijke *verlichting* kan 15- 60% van de nachtelijke ongevallen voorkomen.
- *Longitudinale ribbelstroken* kunnen 20-70% van de bermongevallen vermijden.
- Het gebruik van *onbemande camera's* op grote wegen kan 20-40% van de ongevallen voorkomen, en zelfs 10% van de ongevallen op plaatsen waar niet gecontroleerd wordt.

Dat maatregelen in deze lijst zijn opgenomen, betekent dat het goede maatregelen zijn. Het betekent niet dat ze nog niet in Vlaanderen worden toegepast. In een tweede rapport zullen we op basis van concrete data nagaan in hoeverre deze maatregelen al toegepast worden. Vooruitlopend op dit rapport willen we toch, met het nodige voorbehoud, bovenstaande lijst kort overlopen.

We zijn vrij zeker dat er geen probleem is met de verlichting van de Vlaamse autosnelwegen (misschien zelfs het tegendeel), en we denken dat de meeste secties zowel veiligheidsbarrières in de middenberm hebben als vluchtstroken aan de zijberm. We hebben eveneens reeds een groot aantal secties gezien met longitudinale ribbelstroken.

Er zijn niet waarschijnlijk niet veel linkse op- en afritten in Vlaanderen, maar elke linkse op- en afrit is een potentieel gevaar, dat in de toekomst zeker voorkomen moet worden.

Het gebruik van onbemande camera's stijgt, maar een intensiever gebruik zal de autosnelwegen duidelijk nog veel veiliger maken.

Het aantal automatische managementsystemen in Vlaanderen is erg klein.

We hebben geen zicht op de stroefheid van het wegdek, noch op het gebruik, van langsgroeven.

Tenslotte bevelen we ook aan om minimale waarden vast te leggen afstanden tussen opritten, afritten, en voor lengte van invoeg- en uitvoeg- en weefstroken.

12. LIJST MET AFKORTINGEN

BASt = Bundesanstalt für Straßenwesen

BIVV: Belgisch Instituut voor VerkeersVeilighed

DVM: Dynamisch VerkeersManagement

FOD: Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer

IRTAD: International Road Traffic and Accident Database

NIS: Nationaal Instituut voor Statistiek

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

ROA: Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen

SWOV: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek verkeersveiligheid

13. DANKBETUIGING

We bedanken Freddy De Sutter van de bibliotheek van AWV en Willy Jeurissen van AWV Limburg voor het doorgeven van informatie van de werkwijze van AWV, en het uitzoeken van de relevante omzendbrieven.

14. REFERENTIES

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1994), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, AASHTO
- Baker, D., Der, T., Bushman, R. & Bethelot, C. (2001). ITS Safety System Field Implementation Investigation. IRD Published Papers http://www.irdinc.com/english/pdf/tech_ppr/field_implementation_investigation.pdf
- Bauer, K.M. & Harwood, D.W. (1998). *Statistical models of accidents on interchange ramps and speed-change lanes*. Federal Highway Administration FHWA, FHWA-RD-97-106 :McLean, VA, U.S.
- BIVV (2001). Jaarverslag verkeersveiligheid 2000. Brussel.
- Bruzon, V. & Masters, P. (1997). *Evaluation of the effectiveness of the compass system*. In: Mobility for everybody: proceedings of the fourth world congress on Intelligent Transport Systems ITS, Berlin.
- Chen, C, Darko, E.O. & Richardson, T.N. (2003). Optimal Continuous Shoulder Rumble Strips and Effects on Highway Safety and economy. ITE Journal 2003, vol 73 (5): 30-41.
- CIE (1992). Road lighting as an accident countermeasure. Commission Internationale de l' éclairage, publ. N° 93, Vienna.
- Corben, B., Tingvall, A., Fitzharris, M., Newstead, S. & Johnston, I. (2002). *An analysis of crashes involving median encroachments on high-speed roads*. Draft Report, Monash University Accident Research Centre, Melbourne, Australia
- Cowling, J. & Dewhurst, M. (2003). Speed enforcement for the Controlled Motorway. Traffic Engineering & Control, Product preview, Spring 2003, p 8-9.
- Creasey, F.T. Ullman, G.L. & Dudek, C.L. (1989). Delineation of urban freeway gore area crash cushions in Texas. *Transportation Research Record* No. 1233, p. 28-33,
- de Niet, M. & Blokpoel, A. (2000). Tegen de stroom in. SWOV-schrift nr 83, D-2000-6, Leidschendam.
- Department of Transportation California (1995). Design Information Bulletin Number 77 (DIB 77)- Interchange Spacing <http://www.dot.ca.gov/hq/OPPD/dib/dib77.htm>
- DHV Milieu en Infrastructuur (1997). *Toetsing veilige inrichting bermen : het stellen van prioriteiten bij beheer en onderhoud : Prioberm*. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Afdeling Wegontwerp, Utrecht.
- Fazio, J. Michaels, R.M. Reilly, W.R. Schoen, J. & Poulis, A. (1990) Behavioral model of freeway exiting. *Transportation Research Record* No. 1281, p. 16-27
- Federal Aviation Administration (1997a). Change 2 to Airport Winter Safety and Operations. www.faa.gov/arp/pdf/520030a2.pdf.
- Federal Aviation Administration (1997b) Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-resistant Airport Pavement Surfaces. <http://www2.faa.gov/ARP/PDF/5320-12c.PDF>
- FOD Mobiliteit en Vervoer (2002). *Verkeerstellingen 2001, nr 20*, Directoraat-generaal Mobiliteit en Verkeersveiligheid, Directie Mobiliteit, Brussel.
- Fortey, N. (1999) Review of Federal Highway Administration, (1982). Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements: Volume 1 Washington, D.C <http://kiewit.oregonstate.edu/safe2.html>
- FHWA (2001). Roadway Shoulder Rumble Strips, FHWA, T5040, http://safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/rumstrp_ta.htm#top
- Gaines A. et al. (2003). *A cost recovery system for speed and red-light cameras – two year pilot evaluation*. Department for Transport, Road Safety Division, London. UK.

- Golob, T.F. & Recker, W.W (1987). An Analysis of Truck-Involved Freeway Accidents Using Log-Linear Modeling. *Journal of Safety Research*, vol. 18, 121-136
- Golob, T.F., Recker, W.W. & Levine, D.W. (1990). Safety of Freeway Median High Occupancy Vehicle Lanes: a Comparison of Aggregate and Disaggregate Analyses. *Accident Analysis & Prevention*, Vol 2, p 19-34.
- Hauer, E (2000a). *Lane Width and Safety*. www.roadsafetyresearch.com
- Hauer, E (2000b). *Shoulder Width, Shoulder Paving and Safety*. www.roadsafetyresearch.com
- Hauer, E (2000c). *The Median and Safety*. www.roadsafetyresearch.com
- Hauer, E (2001). *Access and Safety*. www.roadsafetyresearch.com
- Highway Capacity Manual (2000). Transportation Research Board, Washington.
- Highway Design Manual (2001a). Chapter 200: Geometric Design and Structure Standards <http://www.dot.ca.gov/hq/OPPD/hdm/pdf/chp0200.pdf>
- Highway Design Manual (2001b) Chapter 500 Traffic Interchanges <http://www.dot.ca.gov/hq/OPPD/hdm/pdf/chp0500.pdf>
- Highway Design Manual (2001c) Chapter 300 Geometric Cross Section <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chp0300.pdf>
- Highway Design Manual (2001d) Chapter 900 Landscape Architecture. <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chp0900.pdf>
- IRTAD (2003). *Brief Overview International Road Traffic and Accident Data*. http://www.bast.de/htdocs_enql/index.htm
- Janson, B., Awad, W., Robles, J., Kononov, J. & Pinkerton, B. (1998). Truck Accidents at Freeway Ramps: Data Analysis and High-Risk Site Identification. *Journal of Transportation Statistics*. Vol 1, n° 1. 75-92
- Keall M., Povey L., Frith W. (2001). *The relative effectiveness of a hidden versus a visible speed camera programme*. *Accident Analysis and Prevention*, 2001. Vol. 33; p 277 – 284.
- Kim, Y.-S. (2002). Effects of Driver, Vehicle, and Environment Characteristics on Collision Warning System Design Master's Thesis, Linköping Institute of Technology.
- Knack, "Uit het nieuws", in: KNACK, 33e jg., Nr. 44, p20.
- Knuiman, M., Council, F. & Reinfurt, D. (1995). Association of Median Width and Highway Accident rates. *Transportation Research Record*, Vol. 1401, pg 70-82
- Leisch, J.P. (1993). "Freeway and Interchange Design: A Historical Perspective." *Transportation Research Record*, 1385
- Miaou, S.-P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, Vol 25, n° 6, p 689-709.
- Mihai, F., Binning, N. & Dowling, L. (2000). Road Network Asset Management as Business Process. Paper prepared for the REAAA Conference in Japan. <http://zietlow.com/docs/mihai2.pdf>
- Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen (1959). Omzendbrief BRA 167-316.800 van 15.12.1959
- Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen (1970). Omzendbrief BRA 725-451.450 van 20.05.1970
- Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen (1978). Omzendbrief BRA 531-449.900 van 06.02.1978

Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen (1979). Omzendbrief BRA 531-468.950 van 14.08.1979

Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Wegen (1981). Omzendbrief BRA 850-181.08054bis van 11.08.1981

Mn/Dot (2003). Geometric Design Standards Table Guidance.
<http://www.dot.state.mn.us/tecsup/xyz/plu/desstand/highway/geoguide.html>

Moler, S. (2002). Stop. You're going the wrong way. *Accident Investigation Quarterly*, vol 31, 40-43

Nedzesky, A.J. & Powers, R. (2003). Let's Get Grooving. *Public Roads*, vol 66, n° 4: 11.

Neuman, T.R. (1992) Roadway Geometric Design. In: Pline J.L. (ed.). *Traffic engineering handbook*, p. 154-203, Prentice Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey.

Ogden K.W. (1996). *Safer Roads: Guide to Road Safety*. Ashgate Publishing Limited, England.

Olmstead, T. (2001). Freeway management systems and motor vehicle crashes: a case study of Phoenix, Arizona. *Accident Analysis & Prevention*. 33(4), 433-447

Perera, H. & Ross, H. (1989). Prediction of Rollovers Caused by Concrete Safety-Shape Barriers. *Transportation Research Record*, Vol. 1233, pg 124-131

Persaud, B., Musci, K. & Ugge, A. (1996). Safety Evaluation of freeway traffic management system in Toronto, Canada. *Transportation Research Record* 1531, 110-114.

Puvanachandran, V. M. (1995). Effect of Road Curvature on Accident Frequency: Determining Design Speeds to Improve Local Curves. *Road and Transport Research*, Vol. 4, pp. 76-83.

Retting, R.A., Hugh W. McGee, H.W. & Charles M. Farmer, C.M. (2000). Influence of Experimental Pavement Markings on Urban Freeway Exit-Ramp Traffic Speeds. *Transportation Research Record* (Paper No. 00-3272) 1705: 116-1212.

ROA (1989) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 6: Veilige inrichting van berm. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

ROA (1990) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 5: Verlichting. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

ROA (1991) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 2: Lengteprofiel. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

ROA (1992) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 1: Basiscriteria. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

ROA (1993a) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 3: Dwarsprofielen. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

ROA (1993b) Rijkswaterstaat. Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen: Hoofdstuk 4: Verkeerswisselaars en op- en afrittencomplexen. SDU Uitgeverij, 's Gravenhage

Safestar (2002). Safety Standards for Road Design and Redesign. Safestar Final Report. http://europa.eu.int/comm/transport/extra/final_reports/road/Safestar_rep.pdf

Sanderson, J.T. (1985). *An analysis of accidents on freeways with and without lighting*. Royal Automobile Club of Victoria (RACV) Ltd., Melbourne, Victoria.

Siemens Gardner Transportation Systems, Dunn Engineering Associates & University of Tennessee (2002). *Freeway Management and Operations Handbook* http://ops.fhwa.dot.gov/Travel/traffic/documents/FMOH_Chapter6_Draft_Ver1.htm

- State of Washington Joint Legislative Audit and Review Committee (1998) Performance Audit Report 98-2, Washington. <http://jlarc.leg.wa.gov/Reports/98-2.PDF>
- Stephens, J., Johnson, D., Wangsmo, M. & Schillings, P. (1998). Use of warranties on in-service performance for roadway construction projects. FHWA-rapport MT-98-003/8131, Montana State University, Montana. http://www.mdt.state.mt.us/research/docs/research_proj/overlay/report_aug98.pdf
- Sullivan, E.C. (1990). Estimating Accident Benefits of Reduced Freeway Congestion. *Journal of Transportation Engineering / ASCE* 116, n° 2: 167-180.
- Tignor S. et al. (1999). *Innovative Traffic Control Technology and Practice in Europe*. Federal Highway Administration, Office of International Programs, FHWA-PL-99-021.
- Traffic Manual (2002a). Chapter 7 - Traffic Safety Systems. <http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/signtech/signdel/chp7/chap7.htm>
- Traffic Manual (2002b). Chapter 9 - Traffic Signals and Lighting. <http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/signtech/signdel/chp9/chap9.htm>
- van der Horst, R. & Kaptein, N. (1998) Self-Explaining Roads. <http://www.ictct.org/workshops/98-Budapest/2.pdf>
- Van Zuylen, H.J. (2000). Dynamisch verkeersmanagement, inleiding, overzicht en evaluatie. Technische Universiteit Delft, sectie Verkeerskunde, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, februari 2000, 20p.
- Willems, J. (1997). Een oplossing voor de file-ongevallen? *Verkeerstechniek*. December 1997, p 8-11.