

Snelheid, spreiding in snelheid en de kans op verkeersongevallen

Dr. L.T. Aarts

R-2004-9

Snelheid, spreiding in snelheid en de kans op verkeersongevallen

Literatuurstudie en inventarisatie van onderzoeksmethoden

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-2004-9
Titel: Snelheid, spreiding in snelheid en de kans op verkeersongevallen
Ondertitel: Literatuurstudie en inventarisatie van onderzoeksmethoden
Auteur(s): Dr. L.T. Aarts
Projectleider: Drs. I.N.L.G. van Schagen
Projectnummer SWOV: 39.202

Trefwoord(en): Speed, accident, traffic, highway, road user, method.
Projectinhoud: Snelheid speelt een belangrijke rol bij de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken. Deze literatuurstudie beoogt van deze rol een actueel beeld te geven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen a) de relatie tussen absolute snelheid en ongevallen en b) de relatie tussen spreiding in snelheid en verkeersongevallen. Daarnaast bevat dit rapport een inventarisatie van de tot nu toe gebruikte onderzoeksmethoden om de relatie tussen snelheid en ongevallen te onderzoeken.

Aantal pagina's: 57
Prijs: € 11,25
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 2004

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

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

Samenvatting

In het algemeen wordt verondersteld dat snelheid een belangrijke rol speelt bij de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken. Daarnaast speelt snelheid ook een rol bij de ernst van ongevallen. Dit laatste is echter veel eenduidiger vast te stellen dan de relatie tussen snelheid en de *kans* op een ongeval. Er zijn in de loop der jaren dan ook heel wat studies naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen uitgevoerd, maar de bevindingen zijn erg divers.

Deze literatuurstudie beoogt een actueel beeld te geven van de belangrijkste en vooral ook de recentste onderzoeken die er zijn gedaan op het gebied van snelheid in relatie tot de kans op verkeersongevallen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen studies die bevindingen hebben gerapporteerd over a) de relatie tussen absolute snelheid en ongevallen en b) de relatie tussen spreiding in snelheid en verkeersongevallen.

Samenvattend kan gesteld worden dat het verband tussen snelheid en de kans op ongevallen waarschijnlijk het beste met een machtsfunctie te beschrijven is: de kans neemt steeds meer toe naarmate de snelheid hoger is. De stijging van de kans op een ongeval bij een bepaalde snelheidstoenname hangt dus af van de snelheid die men als uitgangspunt neemt. Het is daardoor niet mogelijk *in het algemeen* aan te geven met hoeveel procent het ongevalsrisico stijgt bij een bepaalde toename in snelheid.

Wat spreiding in snelheid en ongevallen betreft, wijst recent onderzoek uit dat een *kleine* spreiding in snelheid samenhangt met een *lager* ongevalsrisico. Waarschijnlijk hangt dit nauw samen met wegkenmerken en wegtypen, daar de spreiding in snelheid kleiner is voor wegen met hoge snelheidslimieten. Verder zijn er ook aanwijzingen dat het percentage hardrijders een belangrijke factor is bij de kans op ongevallen. Meer onderzoek is echter noodzakelijk om hier een beter beeld van te krijgen.

Deze literatuurstudie beschouwt het verband tussen snelheid en ongevallen ook in relatie tot diverse wegkenmerken. De wegkenmerken die invloed blijken te hebben op de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen zijn: a) het type weg, met name de mate van interactie met overige (typen) verkeersdeelnemers, b) fysieke aspecten van de weg, waaronder wegbreedte en het aantal kruisingen of afslagen per weglengte, en c) de verkeersintensiteit.

Daarnaast bevat dit rapport een inventarisatie van de tot nu toe gebruikte onderzoeksmethoden om de relatie tussen snelheid en ongevallen te onderzoeken. Er is gekeken welke methode wetenschappelijk gezien *ideaal* zou zijn voor een studie naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen in Nederland. Dit blijkt de casus-controlestudie te zijn, waarin diepteonderzoek van individuele ongevallen plaatsvindt. Gezien allerlei praktische beperkingen leent een cross-sectionele methode zich echter beter voor een Nederlandse studie. Hierbij worden snelheden en ongevallenfrequenties tussen verschillende wegvakken en wegtypen vergeleken.

Summary

Speed, speed distribution, and the chance of road crashes; Literature study and inventory of research methods

It is generally assumed that speed plays a large part in the chance of being involved in a road crash. Speed also plays a part in crash severity. This, however, is much more simple to determine than the relation between speed and the crash chance. During the course of time, many studies of the relation between speed and crash chance have been carried out, but they have had very varying results.

This literature study aims at providing an up-to-date picture of the most important, and especially the most recent studies made of speed and its relation to crash chance. In this study, a distinction is made between studies that have reported results on a) the relation between absolute speed and crashes and b) the relation between speed distribution and crashes.

The summary of the results is that the relation between speed and crash chance can probably best be described using a power function: the chance increases more as the speed increases. The increase in the crash chance, given a certain speed increase, is thus dependent on the speed taken as starting point. It is, therefore, not possible to generally state with what percentage the crash chance increases for a given speed increase.

With regard to speed distribution, recent research has shown that a small speed distribution is linked to a lower crash chance. This is probably closely related to road features and road types, because the speed distribution is smaller for roads with high speed limits. In addition, there are also indications that the percentage of speed offenders is an important factor in the crash chance. However, more research is necessary to obtain a better picture of this.

This literature study also examines the relation between speed and crashes with regard to various road features. The features that appear to be of influence in the relation between speed and crash chance are: a) the road type, especially the amount of interaction with other types of road users, b) physical aspects of the road, among which road width and the number of crossroads or exit roads per road length, and c) the traffic volume.

In addition, this report contains an inventory of the research methods used up till now, to study the relation between speed and crashes. An examination was made of which method would (scientifically speaking) be ideal for a study of the relation between speed and crash chance in the Netherlands. This appears to be the case-control study, in which in-depth analyses of individual crashes are made. Seeing all the practical limitations, a cross-sectional method is more suitable for a study in the Netherlands. In this method, a comparison is made of speeds and crash frequencies between various road sections and road types.

Inhoud

1. Inleiding	7
2. Verbanden tussen snelheid en verkeersongevallen	10
2.1. Exponentieelvormige verbanden	10
2.2. Lineaire verbanden	17
2.3. Asymptotische verbanden	19
2.4. Conclusies	20
3. Relaties tussen spreiding in snelheid en ongevallen	22
3.1. U-vormige verbanden	22
3.2. Snelheidsvariantie	28
3.3. Snelheidsverdeling: hardrijders	29
3.4. Conclusies	30
4. De rol van omgevingsfactoren	32
4.1. Mate van interactie met andere verkeersdeelnemers	33
4.2. Fysieke wegkarakteristieken	36
4.3. Verkeersintensiteit	38
4.4. Conclusies	39
5. Methode-inventarisatie	40
5.1. Overzicht van bestaande onderzoeksmethoden	40
5.1.1. Zelfrapportage studies	41
5.1.2. Longitudinale studies / voor-nastudies	41
5.1.3. Cross-sectionele studies / representatieve steekproef studies	43
5.1.4. Casus-controle studies	43
5.2. Onderzoeksvragen en -methoden voor een Nederlandse studie	44
5.2.1. Onderzoeksvragen voor een Nederlands studie naar snelheid en ongevalsrisico	45
5.2.2. De ideale onderzoeksmethode	46
5.2.3. Haalbare onderzoeksmethoden	47
5.3. Conclusies	47
6. Conclusies en aanbevelingen	49
6.1. Absolute snelheid en ongevallen	49
6.2. Spreiding in snelheid en ongevallen	50
6.3. Wegkenmerken	51
6.4. Onderzoeksmethoden	52
Literatuur	54

1. Inleiding

Snelheid wordt in het algemeen gezien als een belangrijke factor bij verkeersongevallen. Ongeacht de exacte toedracht van een verkeersongeval, is de factor snelheid altijd aanwezig. Meer inzicht in de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen is van belang om te weten te komen hoe gevaarlijk het is dat automobilisten steeds harder gaan rijden en hoe nodig het is dat snelheden gereduceerd worden ten bate van de verkeersveiligheid. Aan de andere kant dient inzicht in deze relatie ook om betere afwegingen te kunnen maken tussen veiligheidsaspecten enerzijds en de acceptatie van bepaalde snelheidslimieten anderzijds.

De relatie tussen snelheid en ongevallen berust, nader beschouwd, op twee peilers. Ten eerste is er een directe relatie tussen (bots)snelheid en de *ernst* van een ongeval. Deze relatie is gebaseerd op de kinetische energie die bij een botsing vrijkomt. Deze kinetische energie is gerelateerd aan de massa van de botsende objecten (hoe groter de massa, hoe groter de kinetische energie die bij de botsing vrijkomt) en het *kwadraat* van hun botssnelheid. Een kleine toename in botssnelheid heeft dus al snel grote gevolgen.

Ten tweede is snelheid gerelateerd aan de *kans* om bij een ongeval betrokken te raken. Deze relatie is echter veel minder direct en veel complexer dan de relatie tussen snelheid en ongevalsafloop. Dit komt doordat er ook allerlei andere factoren een rol spelen, zoals volgafstand, ervaring, aanwezigheid van botsobjecten, en dergelijke.

Bij de relatie tussen snelheid en de ongevalskans wordt in de literatuur onderscheid gemaakt tussen 1) *absolute snelheid* en 2) *spreiding in snelheid* of afwijking van de gemiddelde snelheid. De literatuur richt zich voornamelijk op de kans dat een *motorvoertuig*, en dan met name een personenauto, bij een ongeval betrokken raakt.

Absolute snelheid heeft invloed op de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken daar bij hoge (absolute) snelheden een bestuurder minder tijd beschikbaar heeft om adequaat op veranderingen in zijn of haar omgeving te reageren. Ook andere weggebruikers hebben minder tijd om op een voertuig met hoge snelheid te reageren. Hierdoor is de kans om met een hoge snelheid bij een ongeval betrokken te raken groter dan met een lagere snelheid.

Spreiding in snelheid speelt op een andere manier een rol in de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken. Indien een voertuig qua snelheid van het gemiddelde op de weg afwijkt, kan dit de kans op een ongeval vergroten doordat het voertuig vaker andere voertuigen tegenkomt die in dezelfde richting rijden. Dit vergroot het aantal potentiële conflictsituaties en daarmee ook de kans om bij een ongeval betrokken te raken.

De relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen wordt verder erg beïnvloed door wegkenmerken, die vaak systematisch met snelheid variëren of zelfs bepaalde snelheden in de hand werken. Op wegen waar hard gereden kan en mag worden, zoals autosnelwegen, zijn bijvoorbeeld minder

kwetsbare verkeersdeelnemers en gelijkvloers kruisende verkeersstromen. Op wegen waar men niet zo hard kan en mag rijden, zijn dergelijke factoren echter wel aanwezig, en vaak ook in ruime mate. De kans op een ongeval op wegen met een lage snelheidslimiet is daardoor vaak hoger dan op wegen met een hoge snelheidslimiet. Wegkenmerken bepalen dus in grote mate de relatie tussen snelheid en de kans om bij een ongeval betrokken te raken. Daarom kan er eigenlijk niet van één relatie gesproken worden. Overigens betreffen de studies die naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen zijn gedaan, enkel gegevens verkregen op *wegvakken*. Mogelijk ligt deze relatie op *kruispunten* weer heel anders, vanwege de afwijkende snelheden en grotere verkeersinteractie.

In Nederland is tot op heden nog maar weinig onderzoek gedaan naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen. Uitspraken over de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico voor de Nederlandse verkeerssituatie zijn dan ook meestal gebaseerd op bevindingen van buitenlandse onderzoeksinstituten die zich met dergelijke vraagstukken intensief bezighouden, zoals bijvoorbeeld het Zweedse VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute) en het Transport Research Laboratory TRL (Verenigd Koninkrijk). Aangezien landen onderling verschillen op het gebied van verkeer en verkeersveiligheid, is het echter nog maar de vraag in hoeverre de tot nu toe gevonden relaties tussen snelheid en de kans op ongevallen in het algemeen gelden. Afgezet tegen andere (Europese) landen die vergelijkbaar zijn op het gebied van de verkeersveiligheid, heeft Nederland bijvoorbeeld een relatief groot aantal kwetsbare verkeersdeelnemers en een hoge zijwegdichtheid (Koorstra et al., 2002). Dit zijn allemaal factoren die van invloed kunnen zijn op de mate waarin het ongevalsrisico toeneemt bij een toename in snelheid. Het verdient daarom aanbeveling om in Nederland zelf onderzoek te doen naar de relatie tussen snelheidsfactoren en verkeersongevallen. De SWOV heeft dan ook onderzoek naar snelheid in relatie tot verkeersonveiligheid opgenomen in haar onderzoeksprogramma van 2003-2006 (SWOV, 2003). Een van de aan snelheid gerelateerde onderzoeksprojecten binnen dit programma is getiteld: *Snelheid, spreiding in snelheid en ongevallen*, waarvan deze literatuurstudie het eerste deel vormt.

Deze literatuurstudie beoogt niet alleen een overzicht te geven van de belangrijkste en meest actuele (sinds de jaren negentig) theorieën en modellen over de relatie tussen *absolute snelheid* en ongevallen, maar ook over de relatie tussen *spreiding in snelheid* en ongevallen. Dit laatste is een uitbreiding ten opzichte van de literatuurstudie die de SWOV tien jaar eerder heeft uitgevoerd (Goldenbeld, 1993). De *Hoofdstukken 2 en 3* zijn dan ook aan deze twee onderwerpen gewijd. Het overzicht gaat daarbij uit van de *uitkomst* van de verschillende onderzoeken, en niet van de *aanvankelijke onderzoeksvraag* die aan de studies ten grondslag lag. Dit is gedaan om een helder overzicht van de *bevindingen* tot nu te krijgen. Er zijn dus studies die absolute snelheid onderzochten, maar concludeerden dat het ongevalsrisico voornamelijk afhing van de spreiding in snelheid (bijvoorbeeld Solomon, 1964) en studies die juist spreiding onderzochten en een afhankelijkheid van de absolute snelheid vonden (bijvoorbeeld Kloeden et al. 1997; 2001).

Omdat de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken niet los te zien is van de omgeving waarin het verkeer zich afspeelt, gaat het vierde hoofdstuk dieper in op de gevonden relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen voor verschillende type wegen en andere omgevingskenmerken.

Het vijfde hoofdstuk van deze literatuurstudie gaat in op de verschillende methoden om de relatie tussen snelheidsfactoren en ongevallen te onderzoeken. Daarbij wordt nagegaan in hoeverre ze ideaal en bruikbaar zijn om ingezet te worden voor een Nederlands onderzoek naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen.

Het zesde hoofdstuk vat de bevindingen uit de eerdere hoofdstukken samen en komt met conclusies en aanbevelingen in relatie tot snelheid, spreiding in snelheid en verkeersongevallen, en onderzoek hiernaar.

2. Verbanden tussen snelheid en verkeersongevallen

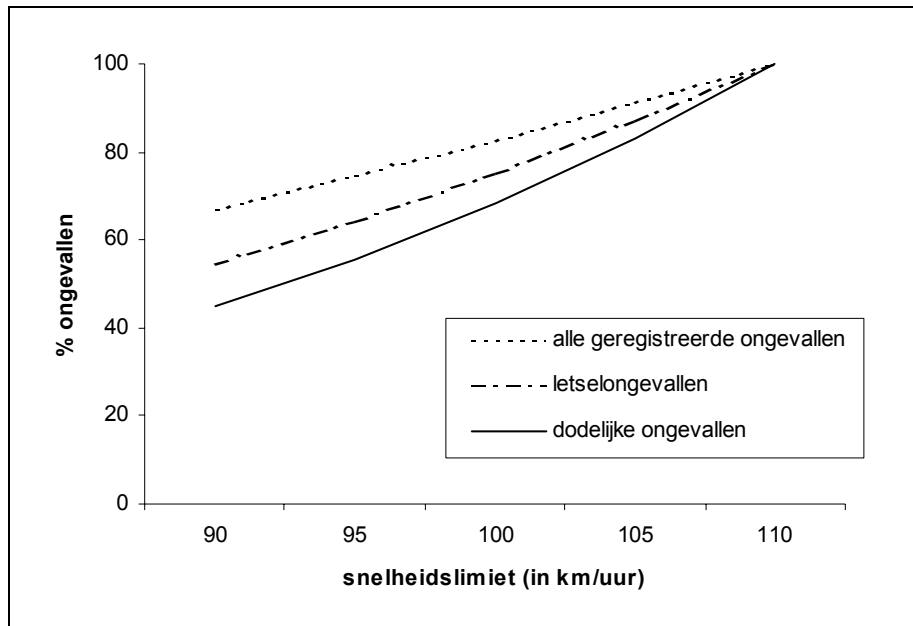
Zoveel onderzoeken als er zijn uitgevoerd naar de relatie tussen (absolute) snelheid en verkeersongevallen, zoveel resultaten zijn er gerapporteerd. Globaal gezien komen de meeste studies wel tot de conclusie dat hogere snelheden tot een toename in ongevalsrisico leiden. Nader beschouwd verschilt het vastgestelde verband echter. De meeste studies komen tot een machtsfunctie of exponentieelvormig verband, terwijl sommigen een lineair verband of zelfs een asymptotische relatie rapporteren.

De volgende paragrafen geven een overzicht en kritische bespreking van de belangrijkste en recentste studies die een relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen hebben gevonden. De onderzoeken worden aan de hand van het type relatie besproken en zo mogelijk zullen daarvan de exacte formules worden gegeven. Tevens worden de onderzoeksmethoden van deze studies tegen elkaar afgezet. De kwaliteit van de methode heeft namelijk grote invloed op de betrouwbaarheid van de bevindingen en dus op de aannemelijkheid van gevonden relaties.

Voor de kwaliteit van gebruikte onderzoeksmethoden zijn diverse zaken van belang. Ten eerste is het belangrijk dat gegevens van snelheid en ongevallen 1) overeenkomen in *tijdstip* waarop ze verkregen zijn, 2) overeenkomen in (*ongevals*)*locatie*, en 3) afkomstig zijn van dezelfde *bestuurder*. Ten tweede is het van belang hoe de snelheids- en ongevallen-data zijn *verkregen*. Data kunnen bijvoorbeeld worden verkregen met vragenlijsten, politierapporten, schattingen op basis van snelheidslimieten, of harde metingen. Ten derde is het van belang hoe het begrip 'ongeval' *geoperationaliseerd* is. Betreft het onderzoek bijvoorbeeld alle ongevallen, of enkel ongevallen met minstens letselschade? De keuzes die gemaakt worden, al dan niet op basis van praktische overwegingen, kunnen namelijk een behoorlijke invloed hebben op de gevonden relatie. Worden bijvoorbeeld enkel ongevallen in het onderzoek betrokken met minstens letselschade, dan geeft dit niet een compleet beeld van de daadwerkelijke relatie tussen snelheid en de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken. Een ander punt dat vaak als zeer belangrijk wordt beschouwd is dat de snelheden die in het onderzoek betrokken worden *vrije rij snelheden* zijn (bijvoorbeeld Kloeden et al., 2001; Quimby et al., 1999). Vrije snelheden worden namelijk niet ingeperkt door hindering van ander verkeer of het uitvoeren van manoeuvres, en vormen daardoor de basis van zo zuiver mogelijk onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevallen. Geschiedt een ongeval namelijk in een situatie die door externe factoren wordt ingeperkt, dan is de rij snelheid meestal niet de hoofdoorzaak van het ongeval. Dergelijke ongevallen zouden daarmee een zuivere snelheid-ongevallenrelatie vertroebelen.

2.1. Exponentieelvormige verbanden

Een veel geciteerd onderzoeksresultaat is de relatie die Nilsson (1982) vond tussen snelheid en verkeersongevallen. Nilsson was een van de eersten die met handzame formules kwam om een verschil in risico op basis van veranderde snelheid te berekenen.



Afbeelding 2.1. Het procentuele verschil in geregistreerde ongevallen, letselongevallen en dodelijke ongevallen volgens de formules van Nilsson (1982), gebaseerd op snelheidslimietwijzigingen van 110 naar 90 km/uur.

De data die Nilsson voor zijn studie gebruikte waren afkomstig van diverse studies uitgevoerd naar aanleiding van snelheidslimietveranderingen op autosnelwegen in Zweden. Het ging hier om wegen waar de snelheidslimiet van aanvankelijk 110 km/uur werd verlaagd naar 90 km/uur. Nilsson gebruikte ongevalgegevens van andere wegen met een (onveranderde) snelheidslimiet van 90 en 70 km/uur als controledata. Limietverlagingen bleken zowel gepaard te gaan met een reductie in (gemiddelde) snelheid als met een reductie in ongevallen (Afbeelding 2.1), terwijl op de wegen waar de limiet onveranderd bleef nagenoeg geen verandering in het ongevalsrisico werd waargenomen. Nilsson redeneerde dat, bij gelijk blijven van alle overige condities, de verandering in de kans op een ongeval evenredig zou zijn met de verandering in kinetische energie die bij de botsing vrij zou komen (zie bijvoorbeeld Andersson & Nilsson, 1997). De verhoudingsgewijze reductie in het percentage ongevallen zou dan berekend kunnen worden op basis van de formule voor kinetische energie die bij een botsing vrijkomt, en dus door de snelheid in het kwadraat te nemen. Nilsson ontwikkelde hiertoe de volgende formule:

$$\left(\frac{100\%}{\%ongevallen_{na}} \right) = \left(\frac{\text{snelheidslimiet}_{voor}}{\text{snelheidslimiet}_{na}} \right)^2 \quad (1)$$

Met '% ongevallen' wordt overigens bedoeld op het percentage door de politie geregistreerde ongevallen, ongeacht de letselernst. Naast deze algemene formule stelde Nilsson ook formules samen die de letselernst specificeren. De verhoudingsgewijze verandering in ongevals-ernst en het aantal dodelijke ongevallen na een snelheidslimietverandering bleek met dezelfde algemene basisformule te kunnen worden voorspeld, waarbij enkel de exponent (het kwadraat van de functie) moest worden

verhoogd. Nilsson berekende dat de verandering in percentage letselongevallen daarbij niet een kwadratische functie was, maar tot de derde macht moest worden verheven. De verandering in het percentage dodelijke ongevallen was te berekenen door de formule tot de vierde macht te verheffen. Dat leverde de volgende formules op:

$$\left(\frac{100\%}{\%letselongevallen_{na}} \right) = \left(\frac{\textit{snelheidslimiet}_{voor}}{\textit{snelheidslimiet}_{na}} \right)^3 \quad (2)$$

en

$$\left(\frac{100\%}{\%dodelijke\ ongevallen_{na}} \right) = \left(\frac{\textit{snelheidslimiet}_{voor}}{\textit{snelheidslimiet}_{na}} \right)^4 \quad (3)$$

Overigens neemt Nilsson zelf daar waar 'snelheidslimiet' staat ook wel de snelheid waarmee de meeste auto's voor en na de limietwijzigingen reden (modus). Beide grootheden zijn uiteraard wel gerelateerd, maar niet identiek, en het wordt uit zijn publicatie niet duidelijk waarom het een zonder meer door het ander vervangen mag worden.

Het is wel opmerkelijk dat in *Formule 1* het verschil in de *kans* op een ongeval bij verschillende snelheden (of eigenlijk: snelheidslimieten) gebaseerd is op het verschil in *kinetische energie* die bij een daadwerkelijke botsing zou vrijkomen (zie Nilsson, 1993). Deze kinetische energie is weliswaar zeer direct gerelateerd aan de *ernst* van de schade bij een ongeval, maar niet aan de *kans* op een ongeval. Joksch (1993) heeft echter recentelijk evidentie gevonden voor het gebruik van een vierde macht om het aantal dodelijke slachtoffers in relatie tot de snelheidslimiet op een weg te berekenen. In zijn analyses vond hij waarden tussen de 3,88 en 4,08 en concludeerde hieruit dat een vierde macht een goede vuistregel is voor de berekening van dodelijke ongevallen. Dit bevestigt in ieder geval *Formule 3*. Pragmatisch geredeneerd kan men stellen dat de opmerkelijke theoretische achtergrond en het beperkte snelheidsbereik van Nilsson's onderzoek niet al te onrustbarend is, daar de formules ook de data in andere studies vaak goed blijken te representeren (bijvoorbeeld Finch et al., 1994).

Een goed punt van Nilsson's formules is dat hij gebruikmaakt van uniforme ongevalsoperationalisaties en zijn formules expliciet uitsplitst naar ongevals-ernst. Hierdoor is er geen onduidelijkheid over wat er precies bedoeld wordt en zijn de formules handig voor schattingen van de waarschijnlijke verkeersveiligheidseffecten van snelheidsmaatregelen.

In een Australisch onderzoek van Fildes et al. (1991) werden exponentieel-vormige verbanden tussen snelheid en het ongevalsrisico van bestuurders op 60 km/uur-wegen binnen de bebouwde kom (urbaan) en 100 km/uur-wegen buiten de bebouwde kom (ruraal) gerapporteerd. De snelheid van individuele voertuigen werd met apparatuur langs een viertal verschillende wegen gemeten gedurende een aantal dagen per locatie. Bestuurders die op basis van deze metingen onder het 15^e (langzame rijders) of boven het 85^e percentiel (hardrijders) van de snelheidsverdeling van het

desbetreffende wegvak reden¹, werden verderop aangehouden en geïnterviewd. In het interview werden zij onder andere gevraagd naar hun recente ongevalsverleden. Hardrijders bleken in de afgelopen vijf jaren vaker bij ongevallen betrokken te zijn geweest dan langzame rijders. Bovendien rapporteerden de hardrijders naast ongevallen met uitsluitend materiële schade (UMS) ook letselongevallen, terwijl de langzame rijders alleen UMS-ongevallen rapporteerden. Fildes et al. doen helaas geen concrete uitspraken over het gevonden verband tussen snelheid en ongevallen maar tonen in een figuur dat het om een exponentieelvormig verband gaat. Aangezien dit getoonde verband tussen snelheid en ongevallen verschilt tussen onderzochte typen wegen, zal dit later aan de orde komen. Als kritiek op hun onderzoek geven de onderzoekers zelf aan dat het snelheidsbereik gering was, daar ze enkel wegen met een snelheidslimiet van 60 en 100 km/uur in het onderzoek betrokken. Ook het totale aantal meetlocaties (n = 4) was gering, alsmede het aantal meetdagen per locatie (4 tot 6 dagen) en dientengevolge ook het aantal casussen (n = 707). Verder moet worden opgemerkt dat het onbekend is in hoeverre bestuurders consistent zijn in hun snelheidskeuze. In het onderzoek van Fildes et al. werd ervan uitgegaan dat een actuele puntmeting van de snelheid van een bestuurder maatgevend was voor de snelheid van dezelfde bestuurder ten tijde van een ongeval. Gezien al deze beperkingen is het moeilijk de betrouwbaarheid van de gevonden relaties tussen snelheid en ongevallen te beoordelen.

In de jaren negentig voerde het Britse Transport Research Laboratory (TRL) een aantal onderzoeken uit naar de relatie tussen snelheid en ongevallen (bijvoorbeeld Baruya, 1998; Maycock et al., 1998; Quimby et al., 1999; Taylor et al., 2000). Er werden diverse methoden gebruikt. Hoewel de uitkomsten op exact niveau wel wat van elkaar verschilden, duiden de resultaten wel allemaal op een exponentieelvormig verband. Maycock et al. combineerden snelheidsmetingen van 6435 voertuigen op een representatieve steekproef van Britse wegen, met de door de bestuurders van de voertuigen zelf gerapporteerde betrokkenheid bij ongevallen in de afgelopen drie jaar. Het verband dat Maycock et al. vonden tussen actuele snelheid en ongevalsbetrokkenheid in de afgelopen drie jaar bleek met de volgende formule te kunnen worden beschreven (zie ook *Afbeelding 2.2*):

$$\text{ongevalsbetrokkenheid}_{3\text{jaar}} = 0,265 \times \left(\frac{\text{voertuigsnelheid}}{\text{wegvaksnelheid}_{\text{gemiddeld}}} \right)^{13,1} \quad (4)$$

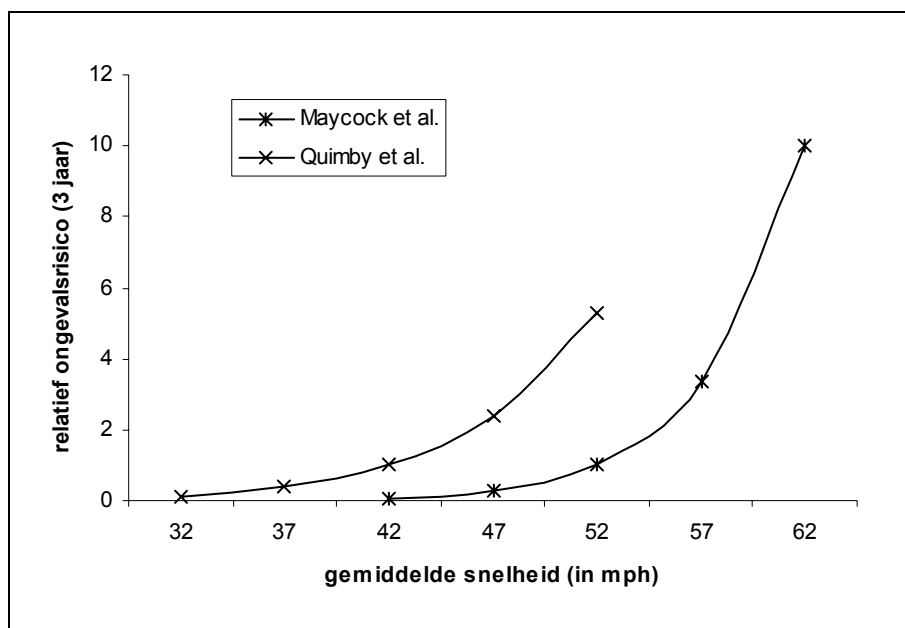
Maycock et al. vertaalden dit in de vuistregel dat *iedere procent toename in snelheid correspondeerde met een 13,1% hogere kans dat men in de afgelopen drie jaar bij een ongeval betrokken was geweest*.

Al lijkt er op het eerste gezicht niets mis met deze vertaling van de formule, het is wiskundig gezien onjuist om de macht van een variabele te een op een te vertalen naar een percentage. Bij een procent verhoging (factor 1,01) van de snelheid zou de ongevalsbetrokkenheid volgens *Formule 4* een

¹ Snelheidspercentielen zijn gekoppeld aan een bepaalde snelheid. Ze geven aan welk percentage van de (geobserveerde) voertuigen langzamer dan deze snelheid rijdt.

factor $1,01^{13,1}$ toenemen. Dit komt overeen met een percentage van 13,9%.

De onderzoekers merken wel terecht op dat de genoemde relatie geen *oorzakelijk* verband aangeeft maar slechts de mate van samenhang tussen snelheid en ongevalsbetrokkenheid. Maycock et al. vonden namelijk dat zowel snelheid als ongevalsbetrokkenheid ook met factoren zoals leeftijd, ervaring en expositie samenhangen. Zo bleken rijervaring en kilometrage twee andere goede voorspellers van de ongevalsbetrokkenheid van bestuurders in de afgelopen drie jaar: hardrijders met relatief weinig rijervaring en een relatief laag kilometrage bleken in de afgelopen drie jaar vaker bij een verkeersongeval betrokken te zijn geweest.



Afbeelding 2.2. De verbanden die Maycock et al. (1998) en Quimby et al. (1999) vonden tussen absolute snelheid en gerapporteerde ongevallen in de voorgaande drie jaar. In deze vergelijking is de constante uit de Formules 4 en 5 buiten beschouwing gelaten en is gekeken naar het relatieve ongevalsrisico. Bij de relatie volgens Maycock et al. ligt het referentierisico van 1 bij de gemiddelde snelheid van 52 mph. In de studie van Quimby et al. ligt de gemiddelde snelheid en het referentierisico bij 42 mph.

Quimby et al. (1999) voerden een soortgelijke studie uit als Maycock et al. (1998). Ditmaal wilden ze achterhalen waarom bestuurders voor een bepaalde vrije snelheid kozen. De redenen hiervoor (voornamelijk gebonden aan persoonlijkheidskenmerken) voeren te ver om in dit rapport te bespreken, maar de tevens gerapporteerde relatie tussen snelheid en ongevallen is wel de moeite waard om te bekijken.

Net als in de studie van Maycock et al. werd ook hier langs de kant van 24 verschillende wegen de individuele voertuigsnelheid gemeten. In tegenstelling tot Maycock et al. betrokken Quimby et al. geen autosnelwegen in hun onderzoek en ondervroegen ze alleen de bestuurders van voertuigen die met minstens drie seconden afstand tot hun voorganger reden. Op deze manier wilden ze ervoor zorgen om enkel vrij gekozen snelheden in het onderzoek te betrekken. Tevens werd het nummerbord geregistreerd. Op iedere weg werden de voertuigen op basis van hun snelheid in vijf even

grote groepen ingedeeld. Van iedere groep werd vervolgens een percentage voertuigen geselecteerd waarvan de eigenaar werd achterhaald. Deze kreeg vervolgens een vragenlijst opgestuurd waarin naar achtergrondgegevens, persoonskenmerken en ongevalsbetrokkenheid in de afgelopen drie jaar werd gevraagd.

Op basis van de 4058 respondenten die informatie over hun ongevalsverleden verstrekten, vonden Quimby et al. de volgende exponentieelvormige relatie (zie ook *Afbeelding 2.2*):

$$\text{ongevalsbetrokkenheid}_{3\text{jaar}} = 0,215 \times \left(\frac{\text{voertuigsnelheid}}{\text{wegvaksnelheid}_{\text{gemiddelde}}} \right)^{7,8} \quad (5)$$

Ze vertaalden dit in de vuistregel dat *iedere procent toename in vrij gekozen snelheid correspondeerde met 7,8% toename van de kans om in de afgelopen drie jaar bij een ongeval betrokken te zijn geweest*. Voor deze vuistregel geldt weer hetzelfde als voor die van Maycock et al.: het is wiskundig onjuist om de macht in deze functie een op een te interpreteren als een percentage. Net als Maycock et al. constateren Quimby et al. in hun onderzoek dat zowel snelheid als betrokkenheid bij verkeersongevallen indirect met elkaar samenhangen door factoren zoals leeftijd, ervaring en kilometrage.

Het is niet helemaal duidelijk waarom Maycock et al. en Quimby et al., ondanks hun grote vergelijkbaarheid in onderzoeks- en analysemethode, niet *kwantitatief* tot eenzelfde verband tussen snelheid en ongevallen komen. De meest voor de hand liggende verklaring is dat het verschil komt door de kleine verschillen tussen de studies. Zo betrokken Quimby et al. enkel voertuigen in hun studie die met zeer conservatief vastgestelde vrije snelheid reden (dat wil zeggen: minimaal drie seconden afstand tot de voorganger). Maycock et al. maakten geen gebruik van een dergelijk selectie criterium. Bovendien betrokken Quimby et al. geen autosnelwegen in hun studie, iets wat Maycock et al. wel deden, waardoor Quimby et al. gemiddeld lagere snelheden analyseerden dan Maycock et al. (resp. 42 versus 52 mph). Toch blijft het onbekend of dit inhoudelijk tot de verschillende bevindingen kan hebben geleid, of dat de verschillen te wijten zijn aan niet geheel representatieve locatie- en bestuurderssteekproeven. Dit laatste is moeilijk te controleren.

Een geheel andere TRL-studie naar de relatie tussen snelheid en ongevallen, uitgevoerd door Baruya (1998), komt op weer een ander resultaat uit. Baruya onderzocht de relatie tussen snelheid en ongevallen met een meta-analyse op basis van snelheidsmetingen en daaraan gekoppelde ongevalldata van 139 wegvakken uit drie Europese landen: Groot-Brittannië, Zweden en Nederland. De snelheidslimieten op de geanalyseerde wegvakken lagen tussen de 70 en 110 km/uur. Aanvankelijk werden ook data uit Portugal meegenomen in het onderzoek, maar die bleken zo zeer van de andere data te verschillen², dat van het totaal inclusief Portugal geen uniform verband tussen snelheid en ongevallen kon worden verkregen. Uit Baruya's meta-analyse van data uit de drie vergelijkbare landen kwam een exponentieelvormige relatie naar voren die weer anders

² Portugal bleek op het gebied van verkeersveiligheid sterk achter te lopen op de andere drie landen, die juist bekend staan als de veiligste Europese landen op het gebied van wegverkeer (de zgn. SUN-landen, zie Koornstra et al., 2002).

was dan Maycock et al. (1998) en Quimby et al. (1999) rapporteerden. Afhankelijk van de gemiddelde snelheid op een weg, komt Baruya's onderzoek tot de bevinding dat *iedere snelheidsreductie van 1 km/uur gerelateerd is aan 1,5 tot 3% reductie van het ongevalsrisico*. Aangezien Baruya de ongevallenfrequentie niet enkel aan snelheid maar ook aan fysieke wegkenmerken koppelde, zodanig dat het niet los hiervan te bespreken is, wordt het gerapporteerde verband (het zogenoemde EURO-model) uitgebreider in *Hoofdstuk 4* behandeld.

In twee recente onderzoeken van het Australian Transportation Safety Bureau (ATSB), uitgevoerd door Kloeden et al. (1997; 2001), werd de relatie tussen snelheid en ongevallen onderzocht door de snelheid van in totaal³ 234 individuele ongevallen (casussen) te vergelijken met de snelheid van vergelijkbare voertuigen die niet bij een ongeval betrokken waren. Hiermee wilden de onderzoekers een zo zuiver mogelijk beeld krijgen van de bijdrage van de factor 'snelheid' aan de kans om bij een ongeval betrokken te raken. Met behulp van experts en een geavanceerd computerprogramma reconstrueerden Kloeden et al. de vrije snelheid waarmee casusvoertuigen gereden hadden vlak voordat ze bij het ongeval betrokken waren geraakt. Iedere zo gereconstrueerde 'casussnelheid' werd daarna vergeleken met de snelheden van een vijf- tot tiental voertuigen die niet bij een ongeval betrokken waren geraakt, maar wel onder dezelfde externe omstandigheden aan het verkeer hadden deelgenomen (onder andere gekoppeld aan rijrichting, rijgebied, tijdstip, dag van de week, weer, lichtsterkte en type voertuig). Uit de studies bleek een sterk exponentieelvormig verband tussen snelheid en ongevallen, dat echter wel van het wegtype bleek af te hangen en om die reden in *Hoofdstuk 4* nader behandeld wordt.

Er moet wel worden opgemerkt dat het gebruik van snelheidsreconstructie tot gevolg had dat alleen ongevallen met minstens één ziekenhuisgewonde konden worden meegenomen in het onderzoek. Voor de reconstructie van de snelheid voorafgaand aan het ongeval moesten de betrokken voertuigen namelijk nog enige tijd op locatie blijven staan. Dit was alleen het geval bij ernstige tot zeer ernstige ongevallen. Voor uitspraken over de relatie tussen snelheid en *ernstige* ongevallen, zijn de studies van Kloeden et al. wel zeer betrouwbaar. Bovendien overstijgen de studies van Kloeden et al. het correlatieve onderzoek door het gebruik van een methode met zo veel mogelijk gekoppelde controlegegevens op voertuigniveau. Hierdoor kunnen ze beter uitspraken doen over de invloed van snelheid op de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken.

Aangezien de meeste studies naar snelheid en de kans op ongevallen tot een exponentieelvormige relatie komen, is dit het meest aannemelijke verband. Over het exacte kwantitatieve verband is echter minder consensus. Een van de redenen hiervan is dat, met name in de gedegen opgezette onderzoeken, meestal ook andere factoren zijn meegenomen die de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen beïnvloeden. Daarom is het niet altijd mogelijk de afzonderlijke *algemene* relatie tussen snelheid en ongevallen uit dergelijk onderzoek te destilleren (zie bijvoorbeeld Baruya, 1998; Kloeden et al. 1997; 2001).

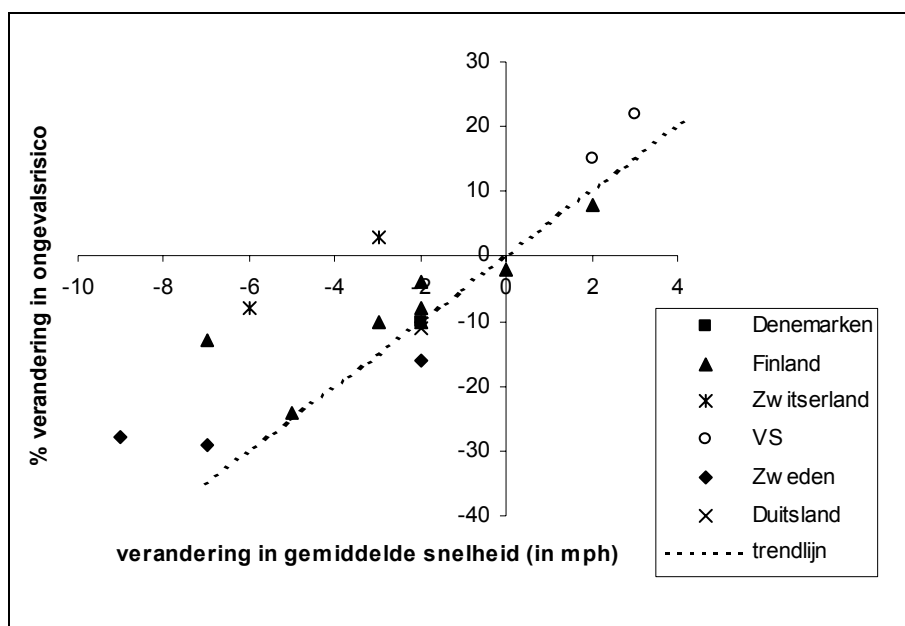
³ Omdat de studies uit 1997 en 2001 op exact dezelfde manier zijn uitgevoerd maar enkel andere wegtypen betroffen, zullen ze hier opgeteld en als één geheel behandeld worden. In *Hoofdstuk 4* komen ze afzonderlijk aan de orde.

Er kan wel worden geconcludeerd dat van alle tot nu toe uitgevoerde studies naar de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico, de studies van Kloeden et al. (1997; 2001) de beste uitspraken kunnen doen over deze relatie. Zij gebruikten namelijk een nauwkeurige onderzoeksmethode met zo veel mogelijk gekoppelde gegevens op voertuigniveau.

2.2. Lineaire verbanden

De eenvoudigste relatie die is gevonden tussen snelheid en ongevalsrisico is een lineair verband. Dat wil zeggen: bij een bepaalde toename of afname van de snelheid stijgt, respectievelijk daalt het ongevalsrisico met een constante factor, ongeacht de absolute hoogte van de snelheid. Het aantal studies dat een dergelijk verband gerapporteerd heeft is echter zeer gering.

Een van deze studies is een vaak geciteerd internationaal onderzoek van Finch et al. (1994). Dit onderzoek was een meta-analyse van snelheids- en ongevalldata van verschillende (westerse) landen, te weten: Finland, Verenigde Staten, Zwitserland en Denemarken⁴. Deze data betreffen snelheids- en ongevalgegevens die waren verzameld naar aanleiding van snelheidslimietveranderingen op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Na samenvoeging van de data probeerden Finch et al. een aantal verschillende modellen op de data te passen.



Afbeelding 2.3. Verandering in ongevalsrisico naar aanleiding van snelheidslimietveranderingen van een aantal landen uit de meta-analyse van Finch et al. (1994). De trendlijn geeft Formule 6 weer.

Een van deze modellen was een lineair verband waarbij 1 mph verlaging van de gemiddelde snelheid tot ongeveer 5% reductie in de kans op een

⁴ In het rapport van Finch et al. werden de snelheid-ongevalstudies van nog meer landen besproken: Zweden, voormalige Bondsrepubliek Duitsland, Groot-Brittannië, Nieuw-Zeeland, Australië en Nederland. Alleen de vier eerdergenoemde landen werden uiteindelijk in de statistische analyse meegenomen. De afbeeldingen van Finch et al. (zie Afbeelding 2.3) bevatten echter ook nog de data van de voormalige Bondsrepubliek Duitsland en Zweden.

verkeersongeval leidde (*Afbeelding 2.3*). Naar km/uur omgerekend wil dit zeggen dat *iedere km/uur verlaging van de gemiddelde snelheid resulteert in een reductie van het ongevalsrisico met 3%*.

Dit lineaire verband zag er in formulevorm zo uit (het teken delta, Δ , staat hierbij voor: verandering in de erachter genoemde grootheid):

$$\Delta \text{ongevallenfrequentie} = 4,92 \times \Delta \text{snelheid}_{t.o.v. \text{gemiddelde}(\text{mph})} \quad (6)$$

Uit de trendlijn in *Afbeelding 2.3* en *Formule 6* blijkt al dat de uitspraak van Finch et al. over de relatie tussen snelheid en het ongevalsrisico niet te vergelijken is met dergelijke uitspraken van andere TRL-collega's, zoals Baruya (1998), Maycock et al. (1998) en Quimby et al. (1999). Finch et al. doelen met hun uitspraak op een *lineair* verband, terwijl het bij soortgelijke uitspraken van collega's om een *exponentieelvormig* verband gaat. Daarom is het goed dat de onderzoekers ook afbeeldingen en formules van hun bevindingen tonen, zodat het duidelijker wordt wat ze precies bedoelen. Omdat de studie van Finch et al. een metastudie van een aanzienlijk aantal landen betrof, wordt hun uitspraak over de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico vaak geciteerd. Finch et al. plaatsen zelf wel een aantal kanttekeningen bij hun onderzoek. Ten eerste merken ze op dat niet ieder land evenveel ruimte heeft voor verbetering van de verkeersveiligheid. Hierdoor kan een bepaalde wijziging van de snelheidslimiet in het ene land een groter effect hebben op de verkeersveiligheid dan in een ander land. Ten tweede merken de onderzoekers op dat de periode tussen de voor- en nameting in de verschillende onderzoeken verschilde. Dit kan effect hebben gehad op de waargenomen veranderingen in gemiddelde snelheid en verkeersveiligheid. Uit onderzoek is bekend dat effecten van snelheidslimietveranderingen na verloop van tijd verminderen (zie ook Roszbach & Blokpoel, 1991). Ten derde merken Finch et al. terecht op dat bij voor- en nastudies geen controle is over andere factoren die mogelijk in de tussentijdse periode zijn veranderd. Daarnaast is het ook niet duidelijk of de veranderingen van de snelheid alleen veroorzaakt werden door de limietwijziging, of dat er ook een effect was van toegevoegde voorlichting of snelheidscontroles.

Finch et al. geven verder ook aan dat hun studie geen oorzakelijk verband tussen snelheid en ongevallen aantoont, maar wel dat een verandering in snelheid gepaard gaat met een verandering in het ongevalsrisico.

Een Canadese studie naar de relatie tussen snelheid en ongevallen door Liu (1998) constateerde ook een lineair verband. De analyse betrof historische gegevens van snelheids- en ongevallendata die tussen 1969 en 1995 op veertien 'provincial highways' (doorgaande wegen) met een snelheidslimiet van 100 km/uur waren verzameld. De data betroffen ongevallen in dezelfde periode en op dezelfde wegtypen waarbij minstens één gewonde was gevallen. Liu is echter niet erg expliciet over de methode van dataverzameling.

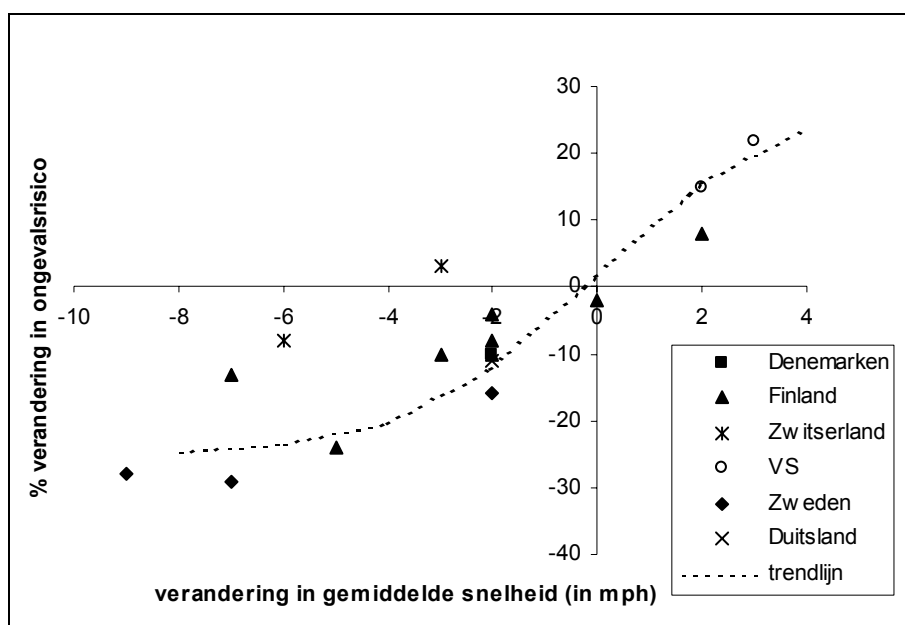
Uit Liu's analyses bleek dat een snelheidstoename van 1 km/uur tot een toename van 190 ongevallen leidde. Helaas geeft Liu niet aan hoe deze 190 ongevallen zich procentueel verhouden tot het totaal aantal ongevallen. Derhalve is zijn formule niet geschikt voor algemenere uitspraken. Bovendien moet worden opgemerkt dat Liu zijn bevindingen weliswaar op een lange periode van dataverzameling baseert, maar alleen op snelheidsgegevens van wegen met een limiet van 100 km/uur die in die tijd niet

veranderde. Daarom is het moeilijk te zeggen of de gevonden lineaire relatie ook in algemener opzicht en voor andere snelheidszones geldt. Ook is het niet duidelijk hoe Liu corrigeert voor spontane of niet met snelheid samenhangende veranderingen in ongevalsrisico over de tijd.

Het is mogelijk dat de studies die een lineaire relatie hebben gerapporteerd hiertoe kwamen omdat ze slechts een klein snelheidsbereik onderzochten (zoals Liu, 1998) of samengesteld waren uit individuele studies met een klein snelheidsbereik (zoals Finch et al., 1994). Een mogelijke verklaring voor het vinden van een lineair verband tussen snelheid en ongevallen is dat dit slechts een klein deel van een veel groter en complexer verband was, waardoor het de schijn van lineariteit had. Voor de studie van Finch et al. gaat deze verklaring echter niet op. De data waarop Nilsson zijn exponentieelvormige relaties baseerde zijn namelijk ook afgebeeld in het onderzoek van Finch et al. (zie de data voor Zweden in *Afbeelding 2.3*). Het blijkt dat het bereik van de data van Nilsson kleiner is en bovendien duidelijk een omhooglopende kromming laten zien, terwijl de data van Finch et al. een veel groter bereik hebben. Finch et al. vonden in hun onderzoek echter wel dat niet alleen een lineair verband redelijk goed op de verzameling data paste, maar ook andere verbanden. Zo bleken de formules van Nilsson ook goed te passen, maar het is niet duidelijk welk van de drie functies. Daarnaast paste ook een asymptotisch verband goed op de data. Dit wordt in de volgende paragraaf besproken.

2.3. Asymptotische verbanden

Zoals reeds aangegeven, pasten Finch et al. ook een *asymptotische functie* op de snelheids- en ongevallendata die ze van verschillende landen beschikbaar hadden.



Afbeelding 2.4. Snelheids- en ongevallendata van verschillende landen in de meta-studie van Finch et al. (1994). De trendlijn geeft het best passende asymptotische verband weer tussen de verandering in gemiddelde snelheid en ongevallen.

De redenering van Finch et al. bij het asymptotische verband was dat snelheid niet aan alle ongevallen als oorzaak ten grondslag ligt en dat dientengevolge de reductie in ongevallen door snelheidsbeperkende maatregelen beperkt is. In de data die aan de meta-analyse van Finch et al. ten grondslag lagen, werd immers geen onderscheid gemaakt tussen ongevallen die (deels) *veroorzaakt* waren door snelheidsgerelateerde factoren en ongevallen die hier niets mee te maken hadden. Daarom veronderstelden de onderzoekers dat er wellicht een boven- en ondergrens aan de door hen geanalyseerde snelheids- en ongevalldata zit: een asymptotische relatie. Volgens hun berekeningen bleek hierbij een snelheidslimiet*verlaging* met een maximale ongevallen*reductie* van 25% en een limiet*verhoging* met een maximale ongevallen*toename* van 28% te kunnen samengaan (*Afbeelding 2.4*).

Dit asymptotische verband bleek als volgt weer te geven:

$$\Delta \text{ongevallenfrequentie} = \left[\frac{53,40}{1 + e^{(-0,58 \times \Delta \text{snelheid}_{i.o.v. \text{gemiddeld}})}} \right] - 25,09 \quad (7)$$

Alhoewel je over deze asymptotische relatie zelden iets hoort, vonden Finch et al. dat deze minstens zo goed op de data paste als de reeds eerder besproken lineaire functie. Het is daarom niet helemaal duidelijk waarom ze deze asymptotische relatie slechts als 'discussiepunt' in hun conclusies meenemen. Finch et al. zijn wel de enigen, voor zover bekend, die een asymptotische relatie tussen snelheid en ongevallen opperen.

2.4. Conclusies

De relatie tussen snelheid en de kans op een verkeersongeval is waarschijnlijk exponentieelvormig. Het merendeel van de studies die naar de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico gekeken hebben, komen immers met een dergelijke bevinding (Baruya, 1998; Kloeden et al., 1997; 2001; Maycock et al., 1998; Nilsson, 1982; Quimby et al., 1999). Het exacte kwantitatieve verband verschilt echter nogal in de verschillende studies. Dit komt mogelijk mede door verschillende onderzoeksmethoden of verschil in achtergrondkenmerken.

Tevens laten de gevonden exponentieelvormige verbanden zich niet zo eenvoudig uitdrukken in termen van: '1 km/uur reductie in absolute of gemiddelde snelheid hangt samen met een reductie van een x aandeel ongevallen'. Daar waar dergelijke uitspraken wel worden gedaan (bijvoorbeeld in de TRL-studies van Baruya; Maycock et al.; Quimby et al.), moet men erop bedacht zijn dat ze schijnbaar een lineaire relatie aanduiden, zoals in het vaak geciteerde onderzoek van Finch et al. (1994), maar dat het *type* verband waarop gedoeld wordt een hele andere is. Zo is in de uitspraak van Finch et al., dat 1 km/uur snelheidstoename tot 3% toename in ongevalsrisico voert, de verhoging van het risico bij toenemende snelheid *altijd hetzelfde*, ongeacht de *absolute* waarde van de snelheid. In de studies waar een exponentieelvormig verband wordt aangetoond tussen snelheid en ongevalsrisico neemt het risico per km/uur toename in snelheid steeds *meer* toe bij hogere snelheid. Uitgaande van een exponentieelvormig verband tussen snelheid en ongevalsrisico is de toename in ongevalsrisico dus minder groot tussen bijvoorbeeld 50 en 51 km/uur dan tussen 70 en 71 km/uur. Zou men de lineaire functie van bijvoorbeeld Finch et al. als

uitgangspunt gebruiken, dan komt men in alle gevallen op *dezelfde* toename in ongevalsrisico uit.

Om deze reden is het duidelijker om formules te hanteren over de vermeende relatie tussen snelheid en ongevalsrisico dan om deze te presenteren in de zin van: '1 km/uur (of 1 procent) verhoging van de snelheid leidt tot zoveel procent toename in ongevallen'.

Nog een ander punt waar men op bedacht moet zijn bij uitspraken over snelheid-ongevallenrelaties is dat het niet om *oorzakelijke* relaties tussen snelheid en ongevalsrisico gaat. Bij *relationele* uitspraken, die aangeven dat twee fenomenen weliswaar vaak samengaan maar geen direct verband met elkaar hoeven te hebben, kan het gevaar optreden dat het ene fenomeen garant lijkt te staan voor het andere. Het gevaar is dus dat men verwacht dat het terugbrengen van de absolute snelheid van voertuigen ook daadwerkelijk tot de voorspelde ongevallenreductie zal leiden.

Ofschoon een lineair verband tussen snelheid en ongevallen vaak wordt geciteerd, vooral uit het onderzoek van Finch et al. (1994), blijkt dit verband twijfelachtig. Argumenten voor deze twijfel komen voort uit methodologische problemen.

De tweede optie die Finch et al. op basis van deze data opperen, maar die zelden geciteerd wordt, is een asymptotische relatie tussen snelheid en ongevallenrisico. De redenering hierachter is dat snelheid niet aan alle ongevallen ten grondslag ligt en dientengevolge snelheidsmaatregelen maar in beperkte mate tot een verandering in het totale ongevalsrisico kunnen bijdragen. Finch et al. zijn echter de enigen, voor zover bekend, die een asymptotische relatie (met onder- en bovengrenzen) als mogelijke optie veronderstellen; deze ligt dan ook niet echt voor de hand.

Samenvattend kan worden gesteld dat de kans op ongevallen steeds sterker stijgt naarmate de absolute snelheid toeneemt. Omdat het verband kwantitatief gezien nogal verschilt tussen studies, worden daarover op deze plek geen uitspraken gedaan. Wel kan worden geconcludeerd dat de studies van Kloeden et al. (1997; 2001) vanwege hun grondige methode als de meest betrouwbare kunnen worden gezien.

3. Relaties tussen spreiding in snelheid en ongevallen

Indien voertuigen op een weg allemaal met dezelfde snelheid zouden rijden zouden er zich geen conflictsituaties en dus ongevallen tussen voertuigen in dezelfde rijrichting kunnen voordoen. Een deel van de ongevallen ontstaat doordat voertuigen, in dezelfde rijrichting, met verschillende snelheden rijden en elkaar gaan inhalen of voor elkaar moeten afremmen. Derhalve kan ook de *spreiding in snelheid* tussen voertuigen bepalend zijn voor de verkeersveiligheid.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op diverse studies die aantoonen dat er een relatie was tussen spreiding in snelheid en verkeersongevallen. Deze studies worden, net als in het voorgaande hoofdstuk, besproken op basis van het *gerapporteerde* verband, en onderling kritisch vergeleken op basis van de gebruikte onderzoeksmethoden.

Er zijn niet zo veel onderzoeken bekend die hebben vastgesteld dat vooral de spreiding in snelheid bepalend is voor de kans op een ongeval op een bepaalde weg. Bij toeval werd het belang van snelheidsverschillen voor de verkeersveiligheid ontdekt in de eerste studies naar snelheid en ongevallen (bijvoorbeeld Cirillo, 1968; RTI, 1970; Solomon, 1964). Uitgezet in een grafiek bleken verhoogde ongevalsrisico's bij lagere én hogere snelheden dan gemiddeld, tot een *U-curve* te leiden (zie § 3.1).

Latere studies die vonden dat het ongevalsrisico samenhangt met spreiding in snelheid, gebruikten snelheidsspreiding meer als een afzonderlijke snelheidsmaat, waarbij geconstateerd werd dat wegen met een *grotere* snelheidsspreiding *onveilig* bleken te zijn dan wegen met een kleinere spreiding (zie § 3.2).

Er zijn ook studies die niet alleen naar de *grootte* van de spreiding keken, maar ook naar de *vorm* van de snelheidsverdeling. Recentelijk uitgevoerde studies keken vooral naar de *bovenkant* van deze verdeling, dus naar de voertuigen met bovengemiddelde snelheid. In deze onderzoeken wordt de *proportie hardrijders* als een belangrijke factor gezien in het ongevalsrisico op een wegvak (zie § 3.3).

3.1. U-vormige verbanden

Solomon (1964) was een van de eerste onderzoekers die het verband tussen snelheid en ongevallen onderzocht. Bij toeval ontdekte hij dat niet absolute snelheid maar spreiding in snelheid een bepalende factor was in de kans op een verkeersongeval. Het onderzoek richtte zich op 'main rural highways' (soort autosnelwegen) in de Verenigde Staten. De meeste wegen hadden een snelheidslimiet die lag tussen 45 en 70 mph.

Solomon gebruikte een ingewikkelde onderzoeksmethode en de meetapparatuur die hij in die tijd voor zijn onderzoek beschikbaar had was niet erg geavanceerd. Een voorbeeld hiervan is dat de gemiddelde snelheid op een te onderzoeken wegvak werd vastgesteld door op verschillende momenten met een auto met de verkeersstroom mee te rijden en regelmatig de snelheidsmeter af te lezen. Daarnaast werd gedurende een jaar de snelheid van 29.000 voertuigen met een meetkastje langs de onderzochte wegvakken op verschillende momenten van de dag gemeten. De gemiddelde snelheid op een wegvak werd vermoedelijk niet berekend op basis van deze laatstgenoemde meetgegevens, omdat Solomon een beeld

van het gehele wegvak wilde hebben, en de snelheidsmetingen van de 29.000 voertuigen enkel op puntmetingen berustten. De 29.000 voertuigen fungeerden als controlegroep voor 10.000 door de politie geregistreerde ongevallen die de afgelopen 3 à 4 jaar op de onderzochte wegvakken hadden plaatsgevonden. Het aantal voertuigen dat bij deze ongevallen betrokken was wordt helaas nergens genoemd. De snelheid van de bij de ongevallen betrokken voertuigen (casussen) werd uit deze politierapporten gedestilleerd om te kunnen vergelijken met de snelheid van de controlevoertuigen. De grootste groep voertuigen van zowel de casus- als de controlegroep bleek met een snelheid van ongeveer 50 mph (\approx 80 km/uur) te hebben gereden. De groep casusvoertuigen bleek echter gemiddeld langzamer te hebben gereden dan de groep controlevoertuigen. De casus- en controlevoertuigen werden op basis van hun snelheid ingedeeld in snelheidscategorieën van 10 mph. Het relatieve ongevalsrisico behorend bij een bepaalde snelheid werd berekend door eerst op ieder wegvak het aantal voertuigmijlen vast te stellen op basis van de intensiteit maal de wegvaklengte. Op basis van het aantal controlevoertuigen in een bepaalde snelheidscategorie en het tijdstip waarop hun snelheid was vastgesteld werd een proportioneel aantal voertuigmijlen (rekening houdend met tijdstip, seizoen, dag/nacht) aan deze categorie toebedeeld. Het aantal casusvoertuigen binnen een bepaalde snelheidscategorie werd vervolgens gedeeld door het aantal toebedeelde voertuigmijlen in die betreffende categorie, waardoor een relatief risico afhankelijk van snelheid verkregen werd. Een ingewikkelde methode dus.

Solomon ontdekte tot zijn eigen verrassing dat de 'veiligste' snelheid, de snelheid waarbij het risico op een ongeval minimaal was, overdag op 65 mph (\approx 105 km/uur) en 's nachts op 55 mph (\approx 90 km/uur) lag, en dus 6 mph (\approx 10 km/uur) *boven* de snelheid waarmee de meeste voertuigen reden (modus). Solomon vond dus dat het risico hoger was voor voertuigen die langzamer of sneller reden dan deze 'veiligste' snelheid. Dit leverde de bekende U-vormige curve op (zie *Afbeelding 3.1* voor de data van overdag). Nader beschouwd, bleken vooral voertuigen die meer dan 30 mph (\approx 50 km/uur) onder de 'veiligste' snelheid reden, een veel hogere kans op een ongeval te hebben dan voertuigen die met hogere snelheden reden (*Afbeelding 3.2*).

Dit onderzoek van Solomon is ongetwijfeld een basiswerk van formaat op het gebied van snelheid en ongevallen. Er is echter geen enkel ander snelheid-ongevallenonderzoek zo veel bediscussieerd als dat van Solomon (zie bijvoorbeeld Hauer, 1971; Kloeden et al., 2001). Een greep uit de aanmerkingen die op Solomons onderzoek te maken zijn:

- De snelheid voorafgaand aan een ongeval was in 21% van de gevallen niet voorhanden. In plaats van deze ongevallen uit de analyses te schrappen, schatte Solomon de snelheden voorafgaand aan deze ongevallen echter. Hiertoe verdeelde hij de snelheden van de overige ongevallen evenredig over de ongevallen waarvan de snelheid onbekend was. Het is zeker niet ondenkbaar dat dit tot een vertekening heeft geleid, te meer daar het om een grote hoeveelheid data gaat.
- Voor zover de snelheid voorafgaand aan een ongeval wel bekend was, was deze vaak een schatting van ooggetuigen of de bestuurder zelf. Dergelijke schattingen kunnen sowieso als dubieus worden aangemerkt, maar zeker als het om schattingen van de bestuurder gaat. Indien de bestuurder namelijk bij een ongeval betrokken raakte terwijl hij of zij de snelheidslimiet overtrad, is het niet ondenkbaar dat de snelheid doelbewust onderschat werd. Solomon noemt dit laatste wel als mogelijk

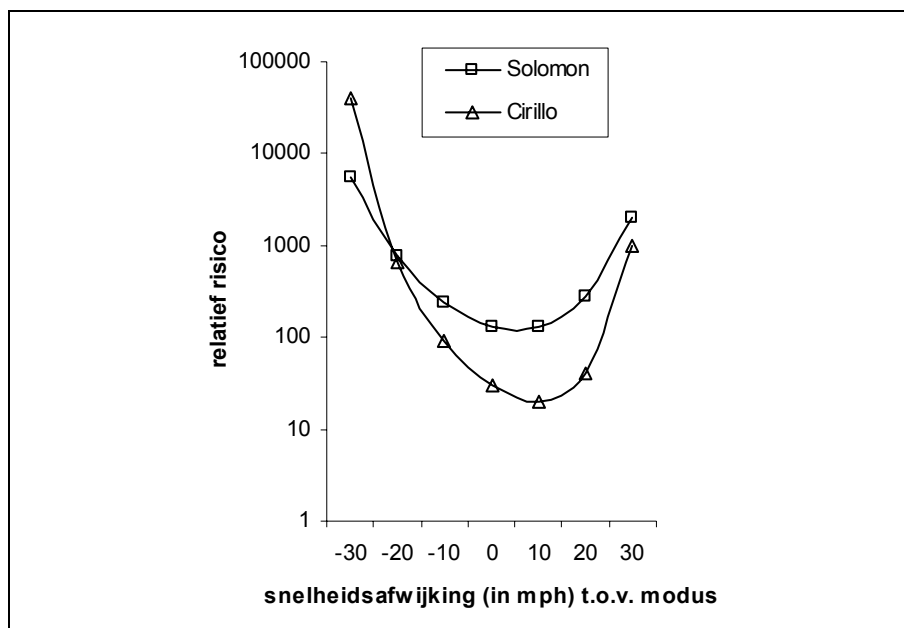
bron van datavertekening maar stelt voorts vol vertrouwen vast dat zijn bevindingen zo robuust zijn dat ook met een dergelijke onderschatting zijn U-curve overeind blijft.

- De bevinding dat met name lage snelheden tot een hoger ongevalrisico leiden komt mogelijk doordat kruispuntongevallen zijn meegenomen. Hoewel Solomon vermeldt dat er alleen kleinere kruispunten in de onderzochte wegvakken besloten waren en dat de ongevallen op deze kruispunten er zo veel mogelijk zijn uitgehaald, merkt hij even later op dat ook zonder kruispuntongevallen zijn bevinding van de U-curve overeind blijft. Het is dus niet helemaal duidelijk of er nu wel of geen kruispuntongevallen in de data zijn meegenomen. Indien kruispuntongevallen wel zijn meegenomen in de analyses, is het mogelijk dat dit leidt tot een enorme overschatting van het ongevalrisico bij (relatief) lage snelheden (zie ook Kloeden et al., 2001).

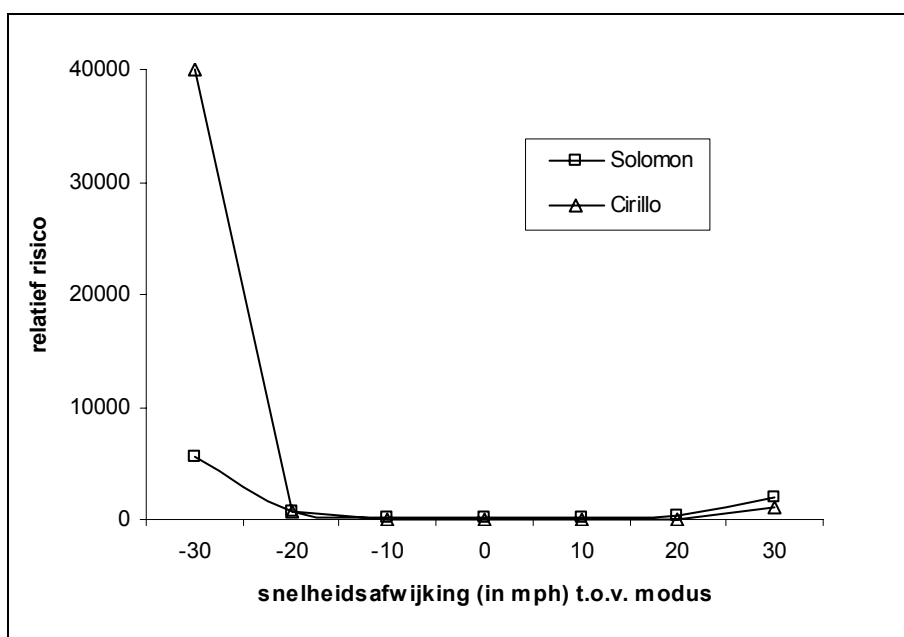
Concluderend kan gesteld worden dat Solomon's bevindingen op heel wat aannames drijven, waarvan het effect op de resultaten niet duidelijk is. Het is zelfs niet onaannemelijk dat deze aannames juist die bevindingen beïnvloed hebben die opzienbarend waren, zoals de bevinding dat juist relatief lage snelheden tot exorbitant hogere ongevalrisico's leidden.

In navolging van Solomon en zijn onderzoek op 'rural highways', onderzocht Cirillo (1968) of spreiding in snelheid ook van invloed was op de kans om betrokken te raken bij een ongeval op 'rural' en 'urban interstate roads'⁵. Net als Solomon, maakte Cirillo gebruik van door de politie geregistreerde ongevallen waaruit onder andere snelheidsgegevens werden gehaald. In tegenstelling tot Solomon echter, betrok Cirillo *enkel* dagdata in haar onderzoek en telde ze niet de ongevallen als geheel, maar het aantal voertuigen dat bij ieder ongeval betrokken was geweest. Zij analyseerde bovendien alleen die ongevallen waarbij minstens twee voertuigen betrokken waren geweest die bovendien in dezelfde richting reden, omdat zij een verschil in snelheid vooral bij het ontstaan van *meervoudige ongevallen* als een mogelijk bepalende factor achtte. Met behulp van elektronische telmachines werd de snelheid van langskomende voertuigen ingedeeld in snelheidscategorieën. Van deze metingen werd uiteindelijk een wegvakgemiddelde berekend. De gemeten verkeersintensiteit maal de wegvaklengte leverde het aantal voertuigmijlen op. De verschillensnelheid ten tijde van een ongeval werd geschat als het verschil tussen de uit de politierapporten gedestilleerde ongevalssnelheid en de gemeten gemiddelde wegvaksnelheid. De ongevalsbetrokkenheid per voertuig per 100 miljoen voertuigmijlen kon zo worden afgezet tegen de verschillensnelheid. Ook Cirillo vond hierbij een U-curve, zij het dat de 'ideale snelheid' in Cirillo's data hoger bleek te liggen dan Solomon had gevonden, en wel rond 12 mph (\approx 19 km/uur) boven de snelheid waarmee de meeste voertuigen reden (modus; zie *Afbeelding 3.1*), in plaats van de door Solomon gevonden 6 mph (\approx 10 km/uur). Ook vond Cirillo bij lage snelheden een veel grotere stijging in het risico van een verkeersongeval dan Solomon (zie *Afbeelding 3.2*).

⁵ 'Interstate roads' en 'highways' zijn beide wegen voor doorgaand verkeer. Het onderscheid tussen beide ligt meer in de ontstaansgeschiedenis dan in een verschil in wegkenmerken. Solomon heeft in zijn onderzoek vermoedelijk alleen 'highways' onderzocht omdat de 'interstates' toen nog in aanleg waren.



Afbeelding 3.1. De gevonden relaties tussen de afwijking in snelheid ten opzichte van de snelheid waarmee de meeste voertuigen rijden (modus) en geregistreerde ongevallen per 100 miljoen voertuigmijlen volgens Solomon (1964; dagdata) en Cirillo (1968).

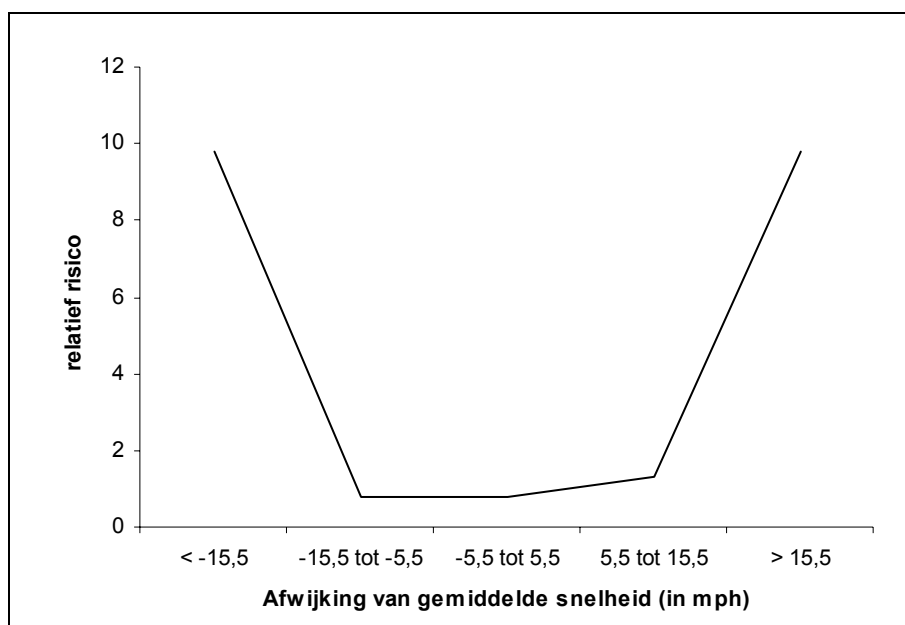


Afbeelding 3.2. Dezelfde relatie als in Afbeelding 3.1 maar nu is de y-schaal niet-logaritmisch weergegeven. Hierdoor valt het duidelijker op dat het ongevalsrisico vooral enorm toeneemt met snelheden die 30 mph (\approx 50 km/uur) onder het gemiddelde liggen.

Al had Cirillo in haar onderzoek de beschikking over iets geavanceerdere technieken, toch laat ook haar onderzoek te wensen over. Net als Solomon vergeleek Cirillo de deels geschatte ongevalssnelheid met een gemiddelde wegvaksnelheid die niet was vastgesteld op het moment van het ongeval.

Het is derhalve niet te zeggen of de geschatte verschillnelheid ten tijde van het ongeval daadwerkelijk de verschillnelheid is geweest. Verder is het van belang te beseffen dat Cirillo met haar resultaten niet de relatie tussen spreiding in snelheid en de *totale* kans bij een ongeval betrokken te raken weergeeft. Het gaat hier slechts om de relatie tussen snelheidsverschil en de kans om bij een *kop-staartongeval* betrokken te raken.

Eind jaren zestig besloot het Research Triangle Institute (RTI, 1970) met nieuwe, geavanceerdere apparatuur studies zoals die van Solomon en Cirillo te repliceren. In plaats van gebruik te maken van ongevallenregistraties van de politie, werkte het RTI met experts op het gebied van diepteonderzoek die gedurende 13 maanden 200 ongevallen op locatie onderzochten. De snelheid waarmee voertuigen voor aanvang van het ongeval hadden gereden werd geschat op basis van fysieke sporen, ooggetuigenverslagen en bestuurdersinterviews. De gemiddelde snelheid op de onderzochte wegvakken werd bepaald op basis van lusmetingen. Het relatieve risico per snelheidscategorie werd berekend door het aantal ongevallen met een bepaalde snelheid te tellen en te delen door het totaal aantal voertuigen in de betreffende snelheids categorie. In sommige gevallen bleek het zelfs mogelijk de ongevallen direct aan de lusmetingen te koppelen. Net als Solomon en Cirillo, vond ook het RTI dat voertuigen die met relatief lage of hoge snelheid reden een relatief hoge kans hadden bij een ongeval betrokken te raken; in dit geval was dat bij meer dan 15,5 mph (\approx 25 km/uur) onder of boven de gemiddelde snelheid. Echter, uit de studie van het RTI bleek ook dat maar liefst 44% van de ongevallen (keer)manoeuvres betrof, die dus ongevallen met lage snelheid representeerden maar niet de factor 'snelheid' als oorzaak hadden. Bij weglating van deze manoeuvreerongevallen bleek dat de toename in ongevalsrisico bij relatief hoge en lage snelheden veel minder sterk was in de RTI-studie dan in de studies van Solomon of Cirillo (*Afbeelding 3.3*).



Afbeelding 3.3. Ongevalsbetrokkenheid per miljoen voertuigmijlen gerelateerd aan vijf snelheidsafwijkingscategorieën volgens het RTI (1970) en West & Dunn (1971).

In navolging van wat Solomon min of meer indirect ook al had gevonden, ontdekte het RTI verder dat de twee poten van de U-curve beide correspondeerden met een verschillende groep bestuurders: de categorie langzame rijders werd vooral gerepresenteerd door oudere bestuurders, terwijl de categorie hardrijders vooral jongeren bevatte. Het RTI opperde dan ook dat het verhoogde ongevalrisico bij lage snelheid mogelijk te wijten is aan een minder snel en adequaat reactievermogen, iets dat met name bij ouderen voorkomt. Het toegenomen risico bij hoge snelheden daarentegen, zou veel meer een combinatie van zelfoverschatting en risico-onderschatting zijn, eigenschappen die vooral bij jongeren veelvuldig voorkomen.

West & Dunn (1971), die deel uitmaakten van de RTI-studie, voerden op een gedeelte van de RTI-data aanvullende analyses uit. Zij merkten op dat uit de RTI-studie blijkt dat een gemiddelde of iets *onder*gemiddelde snelheid het veiligste zou zijn. Behalve speculaties over het verschil in betrouwbaarheid van metingen en onderzoeksmethoden, is het verder niet duidelijk hoe dit komt. Wel moet worden opgemerkt dat West & Dunn vonden dat het merendeel van de voertuigen binnen snelheidsmarges reed waarvan het ongevalsrisico minimaal was (dus tussen de 15,5 mph (\approx 25 km/uur) onder de gemiddelde snelheid, en 15,5 mph erboven; zie *Afbeelding 3.3*). Zij constateerden hiermee dat een verhoogd risico op ongevallen dus vooral geldt voor een relatief kleine groep bestuurders die zeer van de gemiddelde snelheid afwijkt.

Een reactie op Solomon's studie die vanuit een meer theoretisch oogpunt komt, is de publicatie van Hauer (1971). Hauer komt met diverse post-hocverklaringen voor de bevindingen van Solomon. De interessantste en meest uitgewerkte verklaring is de mathematische bewijsvoering voor de veronderstelling dat Solomon's curve vooral voortkomt uit kop-staartbotsingen als gevolg van verschillen in snelheid tussen voertuigen. De U-curve is volgens Hauer namelijk zeer typerend voor kop-staartbotsingen, omdat deze meer zullen plaatsvinden bij voertuigen die harder of juist minder hard dan de rest van de verkeersstroom meerijden. Door berekeningen laat Hauer vervolgens zien dat, uitgezet tegen het aantal voertuigmijlen, met name langzaam rijdende voertuigen meer risico lopen om betrokken te raken bij een ongeval. Dit omdat ze per weglengte relatief vaak andere voertuigen tegenkomen die met hogere snelheid rijden. Hardrijders daarentegen, komen per voertuigmijl minder voertuigen tegen dan langzaam rijdende voertuigen. Dit heeft te maken met het feit dat langzaam rijdende voertuigen langer over een bepaalde weglengte doen en dus per weglengte een langere tijd zijn blootgesteld aan verkeersinteracties. Zo laat Hauer zien dat het risico van kop-staartbotsingen minder toeneemt bij hoge snelheden dan bij lage snelheden. Optelling van de risicocurven van zowel de hardrijders als de langzame rijders vormt een curve die sterk lijkt op de U-curve die Solomon vond. Hauer ziet dit als goede bewijsvoering dat Solomon's bevindingen vooral te verklaren zijn door confrontaties tussen relatief langzaam en snel rijdende voertuigen. Overigens is uit Solomon's opmerkingen over het afnemende percentage kop-staartbotsingen bij hoge snelheden wel op te maken dat zijn U-curve niet enkel gebaseerd is op ongevallen die voortkomen uit conflictsituaties tussen voertuigen maar ook uit enkelvoudige botsingen. Hierdoor zou Hauer's redenering slechts voor een deel van de data opgaan en met name minder opgeld doen voor het gevonden relatieve risico bij bovengemiddelde snelheden.

Decennia later merken Andersson & Nilsson (1997) overigens op dat uit politierapporten blijkt dat er relatief weinig kop-staartongevallen plaatsvinden die het gevolg zijn van een verschil in snelheid tussen voertuigen. Hiermee lijken ook de praktijkgegevens niet geheel in overeenstemming met de theoretische achtergrond die Hauer ons voorschotelt. Wel moet worden opgemerkt dat er in de tussenliggende tijd veel is veranderd in het verkeer. Te denken valt hierbij aan kleinere spreidingen in snelheid door een toegenomen verkeersintensiteit. Mogelijk zijn de spreidingen in snelheid ook kleiner doordat automobilisten de snelheidslimieten tegenwoordig meer als rijsnelheid aanhouden (en niet alleen maar als maximum zien).

De onderzoeken die een U-vormige relatie vonden tussen snelheid en ongevallen hebben niet altijd even nauwkeurig rekening gehouden met ongevallen die te wijten waren aan manoeuvres en congestie. Derhalve is mogelijk het aandeel van verkeer met een ondergemiddelde snelheid in snelheidsgerelateerde ongevallen overschat. De relatie die tussen bovengemiddelde snelheden en snelheidsgerelateerde ongevallen werd gevonden heeft minder duidelijk te lijden gehad onder deze factoren. Bij het wat degelijker uitgevoerd onderzoek, zoals dat van het Research Triangle Institute (1970) blijkt dan ook dat met name de relatie tussen ondergemiddelde snelheden en ongevallen drastisch instort indien zo veel mogelijk manoeuvreerongevallen uit de analyses worden gehaald.

3.2. Snelheidsvariantie

De recentere onderzoeken die vonden dat spreiding in snelheid gerelateerd was aan de ongevallenfrequentie, hebben deze spreiding meestal niet afzonderlijk voor hogere en lagere snelheden ten opzichte van de mediaan bekeken, maar als een afzonderlijke spreidingsmaat: de snelheidsvariantie. Hierdoor betreffen de conclusies over het gevaar van spreiding in snelheid meer de absolute grootte van deze spreiding, dan dat er iets gesteld kan worden over relatief veilige snelheden, zoals wel gedaan is in de onderzoeken van Solomon (1964), Cirillo (1968) en het RTI (1970).

Wederom Noord-Amerikaans onderzoek van Garber & Gadiraju (1989) bestudeerde de relatie tussen spreiding in snelheid en de kans om bij een ongeval betrokken te raken. Ze onderzochten hiertoe 36 wegen voor doorgaand verkeer (te weten: 'interstate roads', 'arterial roads' en 'rural major collector roads') met een snelheidslimiet van 55 mph (≈ 90 km/uur). Hiervan werden de verkeersintensiteit en de individuele voertuigsnelheid gemeten. Deze gegevens werden gecombineerd met 124 geregistreerde ongevallen die in de drie jaar voorafgaand aan en tijdens het onderzoek op de betreffende wegvakken hadden plaatsgevonden. Garber & Gadiraju stelden niet het individuele verschil in snelheid van bij ongevallen betrokken voertuigen en de gemiddelde wegvaksnelheid vast, maar keken per weg naar de snelheidsvariantie als geheel. De onderzoekers vonden dat een grote spreiding in snelheid op een wegvak samenhangt met een hoge ongevallenfrequentie. Daarnaast bleek de snelheidsvariantie *kleiner* te zijn op wegen waar met een relatief *hoge* gemiddelde snelheid wordt gereden. Door de algemene snelheidsvariantie per wegvak aan ongevallenfrequentie te koppelen, konden de onderzoekers echter in het geheel niets zeggen over de relatieve snelheid (ten opzichte van het overige verkeer) van het voertuig op het moment van het ongeval. Het is daardoor volstrekt onmogelijk om op

voertuigniveau te stellen dat voertuigen die van de gemiddelde snelheid afwijken meer risico lopen bij een verkeersongeval betrokken te raken.

In tegenstelling tot het oude onderzoek van bijvoorbeeld Solomon (1964), Cirillo (1968) en het RTI (1970) vond Liu (1998) in zijn snelheid-ongevallenstudie zowel een relatie tussen absolute snelheid en ongevallen alsook een relatie tussen spreiding in snelheid en ongevallen. Als maat voor de spreiding in snelheid nam hij het verschil tussen het 15^e en 85^e percentiel van de snelheidsverdeling op een bepaald wegvak. Uit Liu's onderzoek (voor details, zie § 2.2) bleek dat een spreidingstoename van 1 mph tot een toename van 270 ongevallen leidde. Omdat Liu geen referentiekader aangeeft (zoals ook is besproken in § 2.2), kan op basis van deze bevinding geen uitspraak worden gedaan over het effect van spreiding in snelheid op de *kans* om bij een ongeval betrokken te raken. Ook voor dit onderzoek geldt dat de resultaten niet tegen de oudere onderzoeken kunnen worden afgezet, omdat snelheidsspreiding als een uniforme factor wordt behandeld en niet wordt uitgesplitst naar langzaam en snel rijdende voertuigen. Ook is er geen direct verband te leggen tussen het daadwerkelijke verschil in snelheid tussen de voertuigen die bij een ongeval betrokken waren geweest en voertuigen die dat niet waren.

Ook vond men in een aantal recente studies van het Britse TRL (bijvoorbeeld Baruya, 1998; Taylor et al., 2000) dat niet alleen absolute snelheden maar ook de *snelheidsvariantie* op wegen een relatie vertoonde met de ongevallenfrequentie. Dit aspect werd echter dusdanig gekoppeld aan andere, meer fysieke wegkarakteristieken, dat hier niet eenvoudig de algemene bijdrage van snelheidsspreiding aan het ongevalsrisico valt te bespreken.

De studies die een relatie vonden tussen snelheidsvariantie en verkeersongevallen zijn niet goed te vergelijken met de studies die op voertuigniveau een relatie vonden tussen snelheidsverschillen en ongevallen. Toch vinden ze allemaal dat grote verschillen tussen snelheden niet bevorderlijk zijn voor het ongevalsrisico. Het is echter niet geheel duidelijk in hoeverre dit afhangt van een daadwerkelijk verschil in snelheid tussen voertuigen ten tijde van een ongeval, of van snelheidsspreiding ten gevolge van wegkarakteristieken. Dit aspect komt in het volgende hoofdstuk nader aan bod.

3.3. Snelheidsverdeling: hardrijders

Doordat in de recentere snelheid-ongevallenstudies meer in algemene termen de effecten van snelheidsverdelingen zijn onderzocht, is er ook meer oog gekomen voor de vorm van de snelheidsverdeling in relatie tot verkeersongevallen. De snelheidsvariantie zegt in dit verband al iets over de breedte van de snelheidsverdeling (hoe ver liggen de verschillende wegvak-snelheden uit elkaar?), maar ook zou gekeken kunnen worden naar de symmetrie van de verdeling (is de gemiddelde snelheid de snelheid waarmee de meeste voertuigen rijden?). Er zijn zo wat oudere onderzoeken uit de jaren zestig en zeventig bekend die de *vorm* van de snelheidsverdeling in relatie tot de verkeersveiligheid op wegvakken hebben onderzocht (voor een overzicht zie Cowley, 1987). Recentelijk uitgevoerde studies naar de bijdrage van de snelheidsverdeling aan het ongevalsrisico richten zich met name op de *bovenkant* van deze verdeling (dus de voertuigen die harder dan gemiddeld rijden). In deze onderzoeken wordt de *proportie hardrijders*

als een belangrijke of medebepalende factor gezien in het ongevalsrisico op een wegvak.

Naast een exponentieelvormige toename in ongevalsrisico bij toenemende snelheid (zie Baruya, 1998; Taylor et al., 2000), constateerden TRL-onderzoekers ook een samenhang van het ongevalsrisico met de proportie limietovertreders, ofwel hardrijders. De combinatie van de bijdragen van absolute snelheid en de proportie hardrijders zou er dan op wijzen dat de snelheidsspreiding vooral door *hardrijders* wordt gedomineerd en in veel mindere mate door langzaam rijdende voertuigen. Het blijft echter wel de vraag in hoeverre het hier daadwerkelijk om de proportie hardrijders gaat, of veel meer om de rol van hoge absolute snelheden. Aangezien de bijdrage van de proportie hardrijders aan het ongevalsrisico in sterke samenhang met wegkarakteristieken wordt besproken, wordt dit onderzoek in het volgende hoofdstuk nader toegelicht.

Het is vooralsnog onduidelijk hoe de vorm van de snelheidsverdeling de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico precies beïnvloed. Wel geeft een klein aantal met name wat recentere onderzoeken aan dat deze invloed belangrijk is, en vooral die van het percentage hardrijders.

3.4. Conclusies

De besproken literatuur heeft evidentie opgeleverd dat, naast absolute snelheid, ook de spreiding in snelheid, en eventueel de vorm van de snelheidsverdeling een relatie vertonen met verkeersongevallen. Hierbij speelt absolute snelheid waarschijnlijk vooral een rol in enkelvoudige ongevallen, terwijl spreiding in snelheid vooral invloed heeft op het aantal *meervoudige* ongevallen (zie ook Cowley, 1987).

Een verband tussen spreiding in snelheid en de kans op een verkeersongeval is op z'n minst *theoretisch* aannemelijk. Immers, indien voertuigen niet met de verkeersstroom mee rijden doordat ze een veel hogere of lagere snelheid hebben dan het merendeel van de voertuigen, komen zij vaker in potentiële conflictsituaties. Hardrijders komen daarbij langzamer verkeer achteropgereden, terwijl langzame rijders sneller rijdend verkeer achterop krijgen. Het is overigens mogelijk dat niet alleen de (relatieve-)snelheidskeuze van bestuurders samenhangt met een verhoogd verkeersongevallenrisico, maar ook met andere karakteristieken (bijvoorbeeld leeftijd en/of sekse) van bestuurders die voor bepaalde (relatieve) snelheden kiezen. De studies die in de praktijk daadwerkelijk een relatie vonden tussen een verhoogd ongevalsrisico en de afwijking van *individuele* voertuigsnelheid ten opzichte van de snelheid waarmee de meeste voertuigen reden, zijn allemaal wel behoorlijk gedateerd (bijvoorbeeld Cirillo, 1968; RTI, 1970; Solomon, 1964). Bovendien zijn recentere studies die de oude studies met moderne methoden en meetapparatuur hebben trachten te repliceren, niet op hetzelfde resultaat uitgekomen (zie Kloeden et al., 1997; 2001). Het is dus maar zeer de vraag of de U-vormige relatie tussen afwijking in individuele voertuigsnelheid en ongevalsrisico nog in de praktijk bestaat. Er is in de tussenliggende decennia veel veranderd in het verkeer. Zo zijn er op grotere schaal snelheidslimieten ingevoerd die er, samen met een toenemende verkeersintensiteit mogelijk voor hebben gezorgd dat de verschillen in snelheid tussen voertuigen op eenzelfde weg kleiner zijn geworden. Daardoor zijn mogelijk conflictsituaties door extreme verschillen

in snelheid (zoals die uit Solomon's bevindingen blijken), minder aan de orde.

Recente onderzoeken, die spreiding in snelheid als *uniform begrip* gekoppeld aan het wegvak hebben onderzocht (bijvoorbeeld Garber & Gadiraju, 1998; TRL in Taylor et al., 2000), zijn echter wel tot de conclusie gekomen dat wegen met een kleinere spreiding in snelheid over het algemeen een lagere ongevalsfrequentie hebben. Deze studies maken zeggen echter niets over spreiding in snelheid op *voertuigniveau*, waarop de U-curve gebaseerd is.

Een ander punt dat met spreiding in snelheid en ongevalsrisico samenhangt is de *vorm* van de snelheidsverdeling. Een klein aantal recente studies die dit punt heeft meegenomen in onderzoek, heeft evidentie gevonden dat vooral het *percentage hardrijders* (ook wel: limietovertreders) een rol speelt in de toename van het ongevalsrisico (bijvoorbeeld Baruya, 1998; TRL in Taylor et al., 2000). We kunnen ons echter afvragen in hoeverre deze bevinding niet een weerspiegeling is van de relatie tussen absolute snelheden en ongevallen. Zeker indien het in laatstgenoemde relatie om een exponentieelvormig verband gaat, valt de risicostijging voornamelijk bij zeer hoge snelheden op.

Willen we meer weten over de mate waarin spreiding in snelheid en snelheidsverdelingen een rol spelen bij ongevallen in het algemeen of bij specifieke type ongevallen in het bijzonder, dan zou hier nader onderzoek naar moeten worden gedaan. Het is bijvoorbeeld interessant om te onderzoeken of bestuurders binnen een bepaalde relatieve snelheids-categorie ook op andere kenmerken dan 'snelheid' van overige weggebruikers verschillen. Het is immers mogelijk dat spreiding in snelheid en ongevalsrisico met elkaar samenhangen door middel van een complex aan factoren.

4. De rol van omgevingsfactoren

Omdat de kans op een ongeval niet direct aan snelheid gekoppeld is (in tegenstelling tot de *ernst* van een ongeval), zijn studies naar de relatie tussen snelheid en ongevallen aan veldonderzoek gebonden. Hierdoor is de *zuivere* relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen eigenlijk niet te onderzoeken. Het zuiverheidsprobleem zetelt namelijk in de beperkingen van dit veldonderzoek, daar er niet of nauwelijks te controleren valt voor interacties van omgevingskenmerken met snelheid en ongevallen. Snelheidslimieten en vrij gekozen snelheden (die niet altijd in overeenstemming met deze limieten zijn, zie bijvoorbeeld Garber & Gadiraju, 1998), zijn namelijk altijd enigszins op de eigenschappen van de omgeving aangepast. Een bestuurder die bijvoorbeeld over een smalle weg met veel kruisend verkeer rijdt, zal niet snel de neiging hebben om hier met 120 km/uur overheen te scheuren. Andersom geredeneerd worden wegen die voor hoge snelheden zijn bedoeld hiervoor geschikt gemaakt. Zo zijn rijbanen op een autosnelweg niet voor niets breder dan die van een provinciaal landweggetje, zijn tegenliggers van elkaar gescheiden, en komt kruisend verkeer alleen ongelijkvloers voor.

De onderzoeken die zich gericht hebben op de relatie tussen snelheid en ongevallen, hebben dus eigenlijk altijd te maken met omgevings-eigenschappen waarvoor moeilijk te controleren en/of te corrigeren valt. Deze eigenschappen kunnen de uitkomsten echter behoorlijk beïnvloeden, zeker als er een groot snelheidsbereik in het onderzoek wordt meegenomen. Door wegkarakteristieken als invloedsfactor mee te nemen, beoogt dit hoofdstuk een gedetailleerder beeld te geven van de relaties die tussen snelheid, spreiding in snelheid en ongevallen zijn vastgesteld.

Wegen kunnen op diverse manieren worden gecategoriseerd (zie bijvoorbeeld Koornstra et al., 1992). Het eenvoudigste onderscheid dat snelheid-ongevallenstudies die wegkarakteristieken in het onderzoek hebben betrokken vergelijkbaar maakt, is het onderscheid van wegen naar de mate van *interactie met andere verkeersdeelnemers*, al wordt dit meestal niet als zodanig expliciet genoemd. De meeste studies maken namelijk onderscheid tussen rurale (landelijke) en urbane (stedelijke), of hoog- versus laaggelimiteerde wegen, maar datgene wat deze type wegen voornamelijk onderscheidt is de mate van verkeersinteractie die met de snelheidslimiet en wegkarakteristieken samenhangt. Zo vindt op wegen buiten de bebouwde kom over het algemeen minder interactie tussen verschillende (typen) verkeersdeelnemers plaats doordat er minder kruisingen en afslagen zijn dan op stedelijk wegen. Ook is er vaak een lagere verkeersintensiteit van met name kwetsbare verkeersdeelnemers. Hiermee samenhangend, kan er buiten de bebouwde kom harder worden gereden dan op wegen binnen de bebouwde kom. De mate van interactie met overige verkeersdeelnemers blijkt de snelheid-ongevallenrelatie behoorlijk te kunnen beïnvloeden (zie § 4.1)

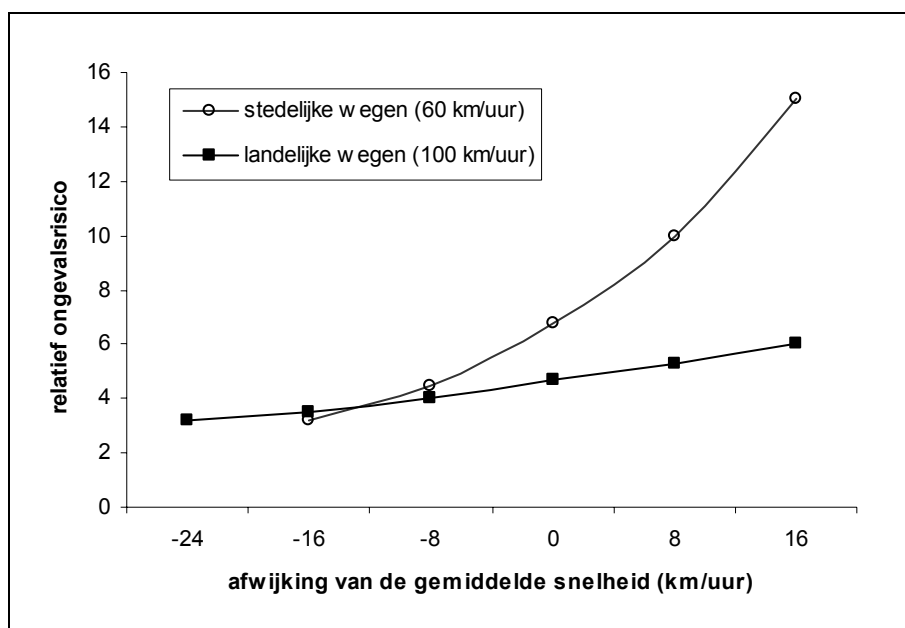
Naast de mate van interactie met andere verkeersdeelnemers, zijn er ook meer *fysieke wegkenmerken* onderscheiden in enkele onderzoeken naar het verband tussen snelheid en ongevallen. Dit zijn bijvoorbeeld de breedte van

de weg en het aantal afslagen op een wegvak. Deze factoren blijken namelijk effect te hebben op snelheidsfactoren, die weer samenhangen met de kans om bij een verkeersongeval betrokken te raken (zie § 4.2).

Een derde omgevingsfactor die in verband met snelheid en ongevallen is onderzocht is de *verkeersintensiteit*. In het algemeen zorgt een hogere verkeersintensiteit voor meer potentiële conflictsituaties en dus een hogere ongevalskans. Aan de andere kant kan bij lage verkeersintensiteit harder worden gereden, wat dan weer tot meer enkelvoudige ongevallen zou kunnen leiden (zie § 4.3).

4.1. Mate van interactie met andere verkeersdeelnemers

In het onderzoek naar snelheid en verkeersongevallen van Fildes et al. (1991) (zie § 2.1), werden zowel landelijke wegen ('rural highways') als stedelijke wegen ('urban roads') betrokken. De landelijke wegen waarop de snelheid-ongevallenrelatie werd onderzocht waren alle wegen met een snelheidslimiet van 100 km/uur. De limiet op de onderzochte stedelijke wegen was 60 km/uur. Fildes et al. vonden dat op de hooggelimiterde landelijke wegen het ongevalsrisico als functie van toename in snelheid, minder snel steeg dan op relatief laaggelimiterde stedelijke wegen (Afbeelding 4.1).

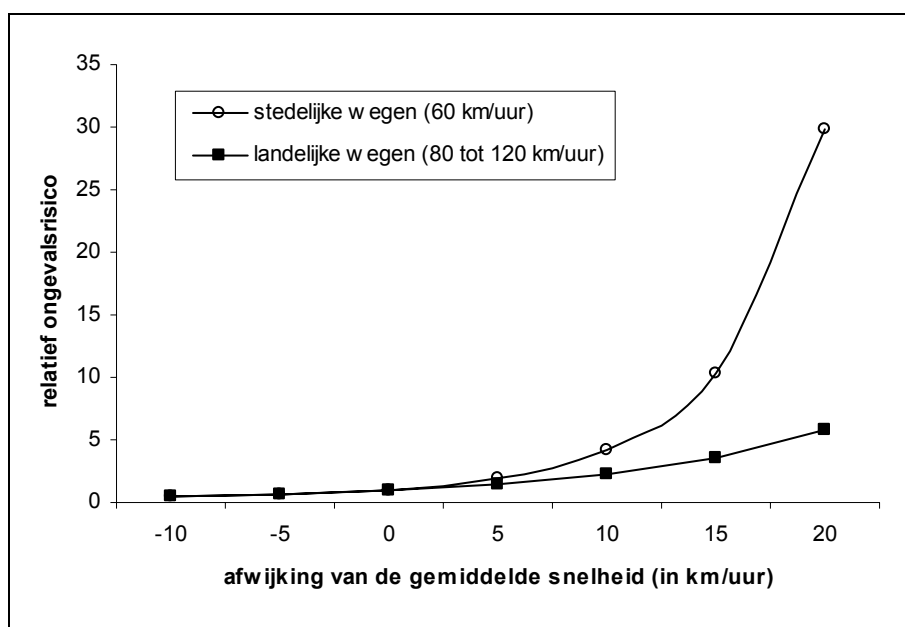


Afbeelding 4.1. De verschillende relaties tussen snelheid en het relatieve ongevalsrisico per miljoen voertuigmijlen voor stedelijke (60 km/uur) en landelijke (100 km/uur) wegen volgens onderzoek van Fildes et al. (1991).

Deze bevinding werd gebaseerd op de relatie tussen langs de kant gemeten voertuigsnelheden en het gerapporteerde ongevalsverleden van de betreffende bestuurder die even verderop werd aangehouden. Wel moet worden opgemerkt dat deze bestuurders hun ongevalsverleden *onafhankelijk* van het wegtype rapporteerden. Alleen de geregistreeerde snelheid van de bestuurder was aan een wegtype gekoppeld. Derhalve toonden Fildes et al. een relatie aan tussen actueel gemeten snelheid op

een bepaald type weg (stedelijke 60 km/uur- of landelijke 100 km/uur-wegen) en het totaal aan ongevallen (onafhankelijk van type weg) waar de bestuurders bij betrokken waren geweest. Behalve grafisch (*Afbeelding 4.1*), geven Fildes et al. echter niet in formulevorm of anderszins in getallen aan wat de stijging van het ongevallenpercentage bij hogere snelheden op de verschillende wegtypen is.

In het recente onderzoek van Kloeden et al. (1997/2002; 2001, zie ook § 2.1) werd de relatie tussen snelheid en ongevallen apart onderzocht voor stedelijke wegen met een snelheidslimiet van 60 km/uur (Kloeden et al., 1997, opnieuw geanalyseerd in Kloeden et al., 2002), en landelijke wegen met een snelheidslimiet tussen de 80 en 120 km/uur (Kloeden et al., 2001). Omdat beide onderzoeken op identieke wijze zijn uitgevoerd, kunnen de uitkomsten goed met elkaar vergeleken worden. Net als in het onderzoek van Fildes et al. (1991) vonden Kloeden et al. in hun studies dat op stedelijke wegen met een relatief lage snelheidslimiet, het ongevalsrisico relatief sneller toenam bij een toename van de individuele voertuigsnelheid dan bij landelijke wegen met relatief hoge snelheidslimieten (*Afbeelding 4.2*).



Afbeelding 4.2. De verschillende relaties tussen snelheid en ongevallen op stedelijke (60 km/uur; Kloeden et al., 1997/2002) en landelijke (80 tot 120 km/uur) wegen (Kloeden et al., 2001).

In tegenstelling tot Fildes et al. gaven Kloeden et al. wel nauwkeurige formules voor de stijging van het ongevalsrisico bij toenemende snelheid op verschillende type wegen. Voor urbane 60 km/uur wegen bleek de relatie tussen snelheid en het relatieve ongevalsrisico als volgt te zijn:

$$\text{ongevalsrisico}_{\text{relatief}} = e^{(0,1133374 \text{ snelheidsverschil} + 0,0028272 \text{ snelheidsverschil}^2)} \quad (8)$$

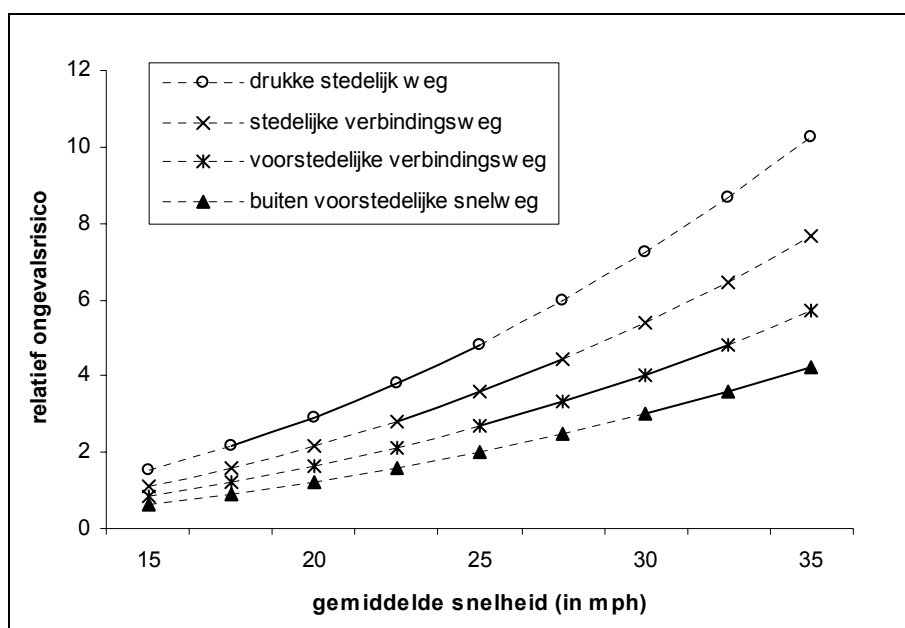
Met het 'snelheidsverschil' wordt het verschil bedoeld tussen de absolute individuele voertuigsnelheid en de gemiddelde snelheid op de betreffende weg.

Voor rurale wegen met een snelheidslimiet tussen de 80 en 120 km/uur bleek de snelheid-ongevallenrelatie beschreven te kunnen worden als:

$$\text{ongevalsrisico}_{\text{relatief}} = e^{(0,07039 \text{ snelheidsverschil} + 0,0008617 \text{ snelheidsverschil}^2)} \quad (9)$$

Wel moet gesteld worden dat deze formules zijn gebaseerd op Australische data, en dat het niet duidelijk is in hoeverre ze ook de situatie in andere landen zoals Nederland goed beschrijven. Ook moet worden opgemerkt dat het ongevalsrisico de kans op een ongeval weergeeft met op zijn minst dusdanig letsel dat een ziekenhuis moet worden geconsulteerd.

In de studie van Taylor et al. (2000) wordt een overzicht gegeven van TRL-onderzoek waarin de snelheid van 300 stedelijke enkelbaanswegen ('urban single carriageways') werd gekoppeld aan in totaal 1590 ongevallen. De wegen hadden een snelheidslimiet van 30 of 40 mph (\approx 50 of 65 km/uur) en werden onderverdeeld in vier categorieën: 1) 'congested roads in town', 2) 'inner city link roads', 3) 'suburban link roads' en 4) 'outer suburban fast roads'. Op wegen waar gemiddeld harder werd (en kon worden) gereden bleken minder ongevallen te hebben plaatsgevonden. Ook bleek de spreiding in snelheid op deze wegen kleiner. Binnen de wegtypen waar gemiddeld harder kon worden gereden bleek het ongevalsrisico bovendien minder sterk toe te nemen bij hogere gemiddelde snelheden dan op stedelijke wegen waar gemiddeld minder hard gereden kon worden (Afbeelding 4.3).



Afbeelding 4.3. De relatie tussen verschillende gemiddelde snelheden op vier verschillende typen min of meer stedelijke wegen en het relatieve ongevalsrisico gerapporteerd in Taylor et al. (2000). De doorgetrokken lijnen geven de daadwerkelijk geobserveerde data aan, de stippellijnen tonen de extrapolatie van de geobserveerde data op basis van de gevonden formule.

Taylor et al. schrijven dat dit verschil in verkeersonveiligheid waarschijnlijk niet alleen samenhangt met de gemiddelde wegvaksnelheid, maar ook met de totale snelheidsspreiding op het wegvak. Daarbij zouden drukke stedelijke wegen niet alleen een *lagere gemiddelde snelheid* vertonen, maar ook een *grotere snelheidsspreiding*.

Het TRL ontwikkelde de volgende formule waarmee de ongevallenfrequentie afhankelijk van de gemiddelde snelheid en de snelheidsvariantie kon worden berekend:

$$\text{ongev.fr.} = 0,000435 \times (\text{snelheid}_{\text{gem}})^{2,252} \times e^{(5,893 \times \text{snelheidsvariantie} / \text{snelheid}_{\text{gem}})} \quad (10)$$

Taylor et al. vatten hun bevindingen samen door te stellen dat op stedelijke wegen met relatief *lage* gemiddelde snelheid, 1 km/uur verlaging van de gemiddelde snelheid tot een ongevallenreductie van ongeveer 4,4% leidt (origineel: 1 mph lagere gemiddelde snelheid correspondeert met 7% minder ongevallen). Op stedelijke wegen waar met *hogere* gemiddeld snelheid wordt gereden, zou 1 km/uur verlaging van de gemiddelde snelheid echter maar tot 1,2% minder ongevallen leiden (origineel: 1 mph verlaging van de gemiddelde snelheid leidt tot 2% minder ongevallen).

Volgens Taylor et al. zou de uitspraak van Finch et al. (1994) dat 1 km/uur verlaging in snelheid tot 3% minder ongevallen zou leiden (resp. 1 mph tot 5%) een goed *algemeen gemiddelde* aangeven. Oppervlakkig gezien lijkt er niets mis met deze constatering, maar wie de onderzoeken naast elkaar zet komt al snel tot de conclusie dat deze uitspraak om diverse redenen niet gedaan mag worden. Ten eerste betreft de uitspraak van Finch et al. een *lineair* verband, terwijl de bevindingen van Taylor et al. exponentieelvormige verbanden betreffen. Bovendien zou de uitspraak van Finch et al. een goed gemiddelde zijn van de door Taylor et al. behandelde *stedelijke* wegen, terwijl de uitspraak van Finch et al. voornamelijk gebaseerd is op *landelijke snelwegen* waarop veel hogere snelheidslimieten gelden. De lijn van de bevindingen van Taylor et al. voor stedelijke wegen doortrekkend, zou je dan als algemeen geldend gemiddelde een *lager* percentage verwachten dan de door Finch et al. genoemde 3% ongevallenreductie.

In het algemeen vinden de onderzoeken die het verband tussen snelheid en ongevallen op verschillende typen wegen hebben onderzocht, allemaal aanwijzingen voor een sneller toenemend ongevalsrisico bij toenemende snelheid op wegen waar *meer interactie met verschillende verkeersdeelnemers* plaatsvindt (ook al wordt deze interactie meestal niet als zodanig genoemd). De mate van interactie wordt mede bepaald door het aantal kruisende wegen en de verkeersintensiteit van de verschillende verkeersdeelnemers (die meestal beide hoger zijn op stedelijke dan op landelijke wegen) en is daardoor bepalend voor de snelheid waarmee gereden kan worden. Het lijkt er derhalve op dat de meeste winst in verkeersveiligheid door snelheidsreductie in de bebouwde kom te halen valt.

4.2. Fysieke wegkarakteristieken

Garber & Gadiraju (1989) onderzochten het ongevalsrisico in relatie tot fysieke karakteristieken van de weg door te kijken naar het verschil tussen de gemiddelde snelheid en de 'ontwerpsnelheid' op een weg. Onder 'ontwerpsnelheid' wordt verstaan: de maximale veilige snelheid die op een weg gehandhaafd kan worden indien de condities dusdanig zijn dat de

kenmerken van de weg bepalend zijn voor deze snelheid (en dus niet andere factoren zoals weersomstandigheden; zie ook Krammes & Glascock, 1992).

Garber & Gadiraju analyseerden in hun onderzoek (zie § 3.2) drie verschillende typen Noord-Amerikaanse wegen voor doorgaand verkeer, te weten 'interstate roads', 'arterial roads' en 'rural major collector roads'. De snelheidslimiet op deze wegen bedroeg 55 mph (\approx 90 km/uur), maar de ontwerpsnelheid (de maximale snelheid waarmee op de weg nog veilig aan het verkeer kon worden deelgenomen), varieerde tussen de 40 en de 70 mph (\approx 65 en 110 km/uur). De onderzoekers zijn niet expliciet over de factoren die de ontwerpsnelheid van een weg bepalen, maar hierbij zou bijvoorbeeld gedacht kunnen worden aan de breedte van de rijbaan en de bochtigheid van de weg (zie voor meer factoren bijvoorbeeld American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1995). De onderzoekers stelden vast dat, ofschoon al deze wegen eenzelfde *snelheidslimiet* hadden, de verschillende ontwerpsnelheden samenhangen met verschillende *gemiddelde snelheden* op de betreffende wegen. De gemiddelde snelheid op deze wegen bleek dan ook te variëren tussen de 44 en de 56 mph, waarbij op de 'interstate roads' de hoogste en op de 'rural major collector roads' de laagste gemiddelde snelheid werd gemeten. Ook constateerden Garber & Gadiraju dat de minste ongevallen plaatsvonden indien de snelheidslimiet 10 mph (\approx 15 km/uur) *onder* de ontwerpsnelheid van de weg zat.

Garber & Gadiraju stelden de hypothese op dat een grote discrepantie tussen ontwerpsnelheid en toegestane snelheid tot meer ongevallen zou leiden. Om deze hypothese te toetsen, onderzochten ze deze discrepantie op locaties waar vaak ongevallen plaatsvonden. Op 80% van deze locaties bleken de ontwerpsnelheid en de snelheidslimiet inderdaad meer dan 10 mph uit elkaar te liggen. Het is echter niet duidelijk of op locaties waar zelden een ongeval plaatsvond, deze discrepantie niet aan de orde was.

In relatie tot de ontwerpsnelheid, de daadwerkelijke snelheid en de verkeersveiligheid, is door een aantal onderzoekers nog een ander relevant wegaspect naar voren gebracht: de *ontwerpconsistentie* van een weg (bijvoorbeeld Krammes & Glascock, 1992; Lamm et al., 2000). Deze onderzoekers stellen dat wegen vaak niet consistent ontworpen zijn doordat de ontwerpsnelheid erg varieert. Met name bochten hebben vaak een hele andere ontwerpsnelheid dan rechte stukken weg, en dit kan de ontwerpconsistentie behoorlijk aantasten. Het gevaar van ontwerp*in*consistentie is dat bestuurders regelmatig hun snelheid aan moeten passen om de toename in mentale werkbelasting die door de wegsituatie wordt opgeroepen in de hand te houden. Dergelijke situaties blijken samen te hangen met een verhoogde kans op verkeersongevallen (Krammes & Glascock, 1992). Wegen worden als veilig en consistent beschouwd indien ze over de totale lengte ontwerpsnelheden hebben die niet meer dan 10 mph (\approx 15 km/uur) van elkaar verschillen (Lamm et al., 2000).

Ook Baruya (1998) onderzocht de interactie tussen verschillende wegkarakteristieken en de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen (zie ook de § 2.1, § 3.2, en § 3.3). Niet alle onderzochte karakteristieken waren fysieke wegkenmerken, maar verreweg de meeste wel, vandaar dat de bevindingen van dit onderzoek hier nader worden besproken. Het onderzoek van Baruya (1998) was een cross-sectionele analyse van de snelheid-ongevallenrelaties op landelijke enkelbaanswegen met snelheids-

limieten tussen de 70 en 120 km/uur van drie Europese landen (Verenigd Koninkrijk, Zweden, Nederland; zie ook § 2.1). In de analyse nam Baruya zo veel mogelijk kenmerken mee die mogelijk het verschil in verkeersveiligheid tussen de landen konden verklaren. Dit leverde de volgende veelomvattende formule op:

$$\text{ongevalsfr.} = \text{wegkarakteristieken} \times e^{0,023 \times \text{sneldheidslimiet}} \times (\text{sneldheid}_{\text{gemiddeld}})^{-2,492} \times (\text{overtreders}_{\text{sneldheidslimiet}})^{0,114} \quad (11a)$$

Waarbij de wegekarakteristieken als volgt zijn samengesteld:

$$\text{wegkarakteristieken} = 5,663 \times (\text{doorstroming}_{24\text{uur}})^{0,748} \times \text{weglengte}^{0,847} \times e^{(0,038 \times \text{afslagen} - 0,056 \times \text{wegbreedte} + 0,023 \times \text{sneldheidslimiet})} \quad (11b)$$

Van de fysieke wegfactoren bleken de wegbreedte en het aantal afslagen invloed te hebben op de ongevallenfrequentie. Zo bleek de ongevallenfrequentie in het algemeen toe te nemen bij smallere wegen en meer afslagen. In hoeverre en in welke mate deze factoren ook nog met snelheid te maken hebben wordt door Baruya niet expliciet behandeld, al is het niet moeilijk te veronderstellen dat met name wegbreedte een effect op snelheid heeft. Al test Baruya geen expliciete verbanden tussen de verschillende onderzochte factoren (iets wat hij gezien zijn methode ook niet kan doen), hij laat wel zien dat de ongevallenfrequentie van een complex aan factoren afhangt en niet alleen maar eenvoudig van de factor 'snelheid'.

De fysieke wegkenmerken die uit onderzoek naar voren zijn gekomen als mogelijk bepalende factoren in de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen, zijn de *wegbreedte* en het *aantal afslagen* op een weg. Daarbij is gevonden dat *smallere wegen* en wegen met *meer afslagen* bij toenemende snelheid tot een grotere ongevaltoename leiden dan wegen die breder zijn en minder afslagen hebben.

4.3. Verkeersintensiteit

Naast fysieke wegkenmerken, zoals het aantal afslagen of de hoeveelheid kruispunten, is ook de verkeersintensiteit bepalend voor de mate van interactie tussen verkeersdeelnemers. Hierdoor is de verkeersintensiteit geen onbelangrijke factor in het ontstaan van gevaarlijke verkeerssituaties. Bij een grotere verkeersintensiteit neemt het aantal potentiële conflictsituaties tussen voertuigen toe. Per voertuig is er namelijk minder vrije ruimte op de weg beschikbaar en dus ook minder ruimte om eventuele fouten van bestuurders 'op te vangen' zonder dat dit tot ongevallen leidt. Met hoge snelheden is er bij minder ruimte al snel te weinig tijd om adequaat op een conflictsituatie te kunnen reageren en een ongeval te voorkomen. Er zijn niet veel studies die de verkeersintensiteit in relatie met snelheid en verkeersveiligheid hebben onderzocht, maar er is wel enige evidentie voor een invloed van verkeersintensiteit via snelheid op het *type* verkeersongeval dat kan plaatsvinden.

Zo constateerde het Research Triangle Institute (RTI) in 1970 in ieder geval al dat het percentage *enkelvoudige* ongevallen toeneemt bij afnemende verkeersintensiteit. Omdat er bij een lagere verkeersintensiteit weinig

belemmerende factoren zijn, zijn bestuurders in dergelijke situaties geneigd harder te rijden, met als gevolg een verhoogde kans om de macht over het stuur te verliezen. Het percentage enkelvoudige ongevallen waar het RTI op doelt, kan bij afnemende verkeersintensiteit dus onevenredig veel toenemen ten opzichte van het totale (aan snelheid gerelateerde) ongevalsrisico. Omgekeerd kunnen bij toenemende intensiteit relatief meer meervoudige ongevallen, zoals kop-staartbotsingen, plaatsvinden.

Recentelijk wijst Baruya (1998) erop dat de verkeersintensiteit een rol speelt in de kans op ongevallen. Uit zijn *Formules 11a en 11b* valt op te maken dat de ongevallenfrequentie steeds minder snel toeneemt bij hogere intensiteit. Hij zegt echter niets over hoe de snelheid zich in dit verband verhoudt.

Op basis van deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat er nog niet veel bekend is over het effect van verkeersintensiteit op de snelheid-ongevallenrelatie. De bevinding dat de verkeersintensiteit met name invloed heeft op het *type* ongeval dat kan plaatsvinden is in ieder geval vanuit rationeel oogpunt zeer aannemelijk.

4.4. Conclusies

De onderzoeken die recentelijk zijn uitgevoerd naar het verband tussen snelheid en ongevallen in relatie tot diverse wegkenmerken, hebben slechts voor enkele verschijnselen eenduidige evidentie gevonden.

Ten eerste blijkt dat op stedelijke wegen een snelheidsverhoging tot een snellere stijging van het ongevallenpercentage leidt, dan het geval is op landelijke wegen (Fildes et al., 1991; Kloeden et al. 1997; 2001; TRL in Taylor et al., 2000). Stedelijke wegen kenmerken zich veelal door een relatief lage snelheidslimiet omdat er veel interactie tussen verkeersdeelnemers is. Landelijke wegen hebben over het algemeen relatief hoge snelheidslimieten omdat er minder interactie tussen verschillende verkeersdeelnemers is door bijvoorbeeld minder gelijkvloerse kruisingen, meer gescheiden rijbanen en lagere intensiteiten van kwetsbare verkeersdeelnemers.

Een tweede punt dat onderzocht is en waarschijnlijk sterk met het eerste punt samenhangt zijn de fysieke kenmerken van een weg. Hieronder vallen voornamelijk a) de wegbreedte en b) het aantal afslagen per weglengte (Baruya, 1998), maar ook algemenere kenmerken zoals c) ontwerpsnelheid en d) ontwerpconsistentie (bijvoorbeeld Garber & Gadiraju, 1998; Krammes & Glascock, 1992; Lamm et al., 2000). Er is evidentie dat op smallere wegen en wegen met veel afslagen een verhoging van de snelheid tot een sterkere stijging van het ongevallenpercentage leidt dan op wegen die bredere rijbanen hebben en minder afslagen. De kleinste kans op verkeersongevallen is er op wegen waar de gemiddelde snelheid 10 mph (\approx 15 km/uur) onder de ontwerpsnelheid ligt, en op wegen waar bestuurders hun snelheid over de totale weglengte met niet meer dan 10 mph moeten aanpassen vanwege te scherpe bochten of bulten. Op het gebied van fysieke wegkenmerken in relatie tot snelheid en ongevallen is echter nog veel te onderzoeken, mede doordat veel factoren onderling met elkaar samenhangen.

Een derde punt dat mogelijk de relatie tussen snelheid en ongevallen beïnvloedt is de verkeersintensiteit. Er is enige evidentie dat de verkeersintensiteit van invloed is op het *type* ongeval: een hoge verkeersintensiteit leidt tot relatief meer meervoudige ongevallen (RTI, 1970).

5. Methode-inventarisatie

De SWOV is in het kader van haar onderzoeksprogramma 2003-2006 van plan om de snelheid-ongevallenrelatie te onderzoeken op Nederlandse wegen. Dit hoofdstuk geeft daarom eerst een overzicht van de verschillende onderzoeksmethoden. Daarnaast wordt er, voor een toespitsing op de *Nederlandse* situatie, nader ingegaan op interessante onderzoeksvragen en op de vraag welke onderzoeksmethode het geschiktst zou zijn om deze te beantwoorden.

5.1. Overzicht van bestaande onderzoeksmethoden

Er zijn in eerder onderzoek diverse methoden gebruikt om de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen te bestuderen. Deze methoden zouden volgens Barker (2003) kunnen worden onderverdeeld in 1) bestuurder-georiënteerde en 2) weggeoriënteerde studies. Zoals de naamgeving al doet vermoeden, staat in het eerste geval de snelheid-ongevallenrelatie van individuele bestuurders centraal, terwijl bij de tweede categorie de weg of een wegvak het referentiepunt van de snelheid-ongevallenrelatie is. Het overzicht dat Barker geeft is echter niet volledig als het gaat om de verschillende onderzoeksmethoden waarmee wereldwijd de snelheid-ongevallenrelatie is onderzocht. Er zijn, vooral door het Australische ATSB (bijvoorbeeld Kloeden et al., 1997; 2001), ook snelheidsstudies uitgevoerd waarin niet alleen het type weg centraal stond, maar ook het tijdstip waarop een ongeval plaatsvond en overige externe omstandigheden. Hiermee zou nog een derde onderzoekscategorie aan het overzicht van Barker kunnen worden toegevoegd: 3) studies die zo veel mogelijk factoren met elkaar koppelen.

Het is van belang dat snelheids- en ongevalgegevens zo veel mogelijk van hetzelfde tijdstip verkregen zijn, daar de snelheid op een bepaald moment niet overeen hoeft te komen met snelheid op het moment waarop een ongeval plaatsvond. Hoe meer van deze aspecten in een studie naar de relatie tussen snelheid en ongevallen gekoppeld worden, hoe nauwkeuriger een verband kan worden vastgesteld. Bovendien kunnen studies die weinig van deze factoren koppelen, of niet voor deze factoren controleren, vaak wel een *relatie* aantonen, maar deze zegt weinig over de mate waarmee snelheid en verkeersonveiligheid direct met elkaar samenhangen. Het kan dan namelijk best zijn dat het verband geheel andere oorzaken heeft dan 'absolute snelheid' of 'spreiding in snelheid'. Snelheidsfactoren kunnen bijvoorbeeld via andere (verborgen) factoren een indirect verband met verkeersongevallen vertonen (leeftijd, sekse, attitude, luxe van het voertuig en dergelijke). Hoe beter we echter in staat zijn een direct verband te achterhalen, hoe beter en efficiënter we eventueel invloed kunnen uitoefenen ter verbetering van de verkeersveiligheid.

Snelheid-ongevallenrisicostudies die de bestuurder centraal stellen worden ook wel *zelfrapportage studies* genoemd. Studies die een weg of locatie centraal stellen, vallen uiteen in a) *longitudinale* of *voor-nastudies* en b) *cross-sectionele* of *representatieve steekproefstudies*. Een laatste categorie studies die kan worden onderscheiden is de *casus-controlestudie*, waarin het individuele ongeval (de casus) centraal staat. Deze vier onderzoeksmethoden worden in de volgende paragrafen behandeld.

5.1.1. *Zelfrapportagestudies*

In bestuurdergeoriënteerde studies (ook wel zelfrapportagestudies), wordt de snelheid van individuele bestuurders gekoppeld aan hun zelf-gerapporteerd ongevalsverleden. Voorbeelden hiervan zijn de studies van Fildes et al. (1991), Maycock et al. (1998) en Quimby et al. (1999).

Zelfrapportagestudies gaan meestal als volgt: met verdekt opgestelde meetapparatuur wordt de snelheid van langskomende voertuigen geregistreerd. Afhankelijk van de onderzoeksvraag (gaat het bijvoorbeeld om hardrijders, bestuurders die erg van de gemiddelde snelheid afwijken, of een willekeurige steekproef) wordt een aantal voertuigen geselecteerd. Daarna kan er op diverse manieren voor worden gezorgd dat de betrokken bestuurder een vragenlijst invult. In het ene geval worden de kenmerken van het voertuig doorgegeven aan een verderop gelegen aanhoudingspost. Bij deze aanhoudingspost, die meestal uit het zicht ligt van voertuigen die langs de snelheidsmeter rijden, wordt het geselecteerde voertuig aangehouden en wordt de bestuurder gevraagd een vragenlijst in te vullen. In het andere geval worden op basis van het geregistreerde kenteken van het voertuig de adresgegevens van de eigenaar achterhaald en wordt deze per post verzocht aan het onderzoek deel te nemen. Indien de eigenaar op het moment van de snelheidsmeting niet zelf de bestuurder was, wordt hem of haar gevraagd de vragenlijst naar de betreffende bestuurder door te spelen. In de vragenlijst wordt de bestuurder onder andere gevraagd naar zijn of haar ongevalsverleden in een bepaalde afgebakende periode (bijvoorbeeld in de voorafgaande drie of vijf jaar). Daarnaast wordt in bestuurdergerelateerde studies ook naar andere eventueel indicatieve factoren, zoals kilometrage, reisdoel, rijervaring of diverse persoonlijkheidskenmerken gevraagd.

Het voordeel van dergelijke studies is dat ze de snelheid-ongevallenrelatie aan zeer veel bestuurderskarakteristieken kunnen koppelen. Zo is uit dergelijk onderzoek reeds naar voren gekomen dat het ongevalsrisico niet alleen met de daadwerkelijke snelheid of met persistent hardrijden samenhangt, maar ook met factoren als: leeftijd, sekse, het aantal afgelegde zakelijke kilometers, en de tendens tot overtreden van de verkeersregels (Barker, 2003). Daarmee komt een completer beeld naar voren van factoren die met snelheid en betrokkenheid bij verkeersongevallen samenhangen.

Een groot nadeel van bestuurdergeoriënteerde studies is dat de methode berust op de aanname dat snelheden consistent over de tijd en over de locatie zijn. De snelheid die op één locatie en tijdstip wordt gemeten (puntmeting), wordt vervolgens aan een ongevalsverleden gekoppeld waarvan meestal niet bekend is wat de absolute en relatieve snelheid van de bestuurder was en op welk type weg hij of zij aan het verkeer deelnam. Derhalve kunnen dergelijke studies wel een relatie aantonen tussen snelheid en ongevallen, maar kunnen ze niets zeggen over een *oorzakelijke* relatie tussen deze factoren.

5.1.2. *Longitudinale studies / voor-nastudies*

Longitudinale studies worden meestal uitgevoerd op wegen waarop men een verandering in de gemiddelde snelheid of spreiding in snelheid verwacht. Een verandering in snelheid wordt meestal bewerkstelligd door de

snelheidslimiet aan te passen (bijvoorbeeld Wilmot & Khanal, 1999), maar kan ook optreden door bijvoorbeeld verscherpt politietoezicht (Goldenbeld et al., 2004). Een zo bewerkstelligde verandering in snelheid wordt daarna gekoppeld aan ongevalgegevens van vóór en na de limietverandering om zo een relatie tussen snelheid en ongevallen vast te kunnen stellen. Vandaar dat longitudinale studies ook wel voor-nastudies worden genoemd.

Er zijn zeer veel voorbeelden van snelheidsstudies die gebaseerd zijn op longitudinaal onderzoek. Zo baseerde Nilsson (1982) zijn bekende formules op snelheidslimietveranderingen op wegen in Zweden waar voertuigen aanvankelijk 110 km/uur mochten rijden, en later slechts 90 km/uur. Hij vergeleek de verandering in het ongevalsrisico op deze wegen met de ongevallen op wegen met een onveranderde limiet van 90 en 70 km/uur.

Een ander bekend voorbeeld van voor-nastudies naar de relatie tussen snelheid en ongevallen, is de situatie naar aanleiding van een snelheidslimietverandering in de jaren tachtig in de Verenigde Staten. Het ging hier om een limietverhoging van 55 naar 65 mph op snelwegen in een aantal staten van de VS. Deze limiet was ten tijde van de oliecrisis van 65 naar 55 mph verlaagd, maar aangezien zich steeds minder bestuurders aan de 55 mph-limiet hielden, besloten de meeste staten hun snelheidslimiet te verhogen om zo de snelheidsverdeling meer te uniformeren. Deze limietverandering werd door heel wat onderzoekers aangegrepen om te kijken of het percentage ongevallen veranderde (zie bijvoorbeeld Garber & Gadiraju, 1991; Godwin, 1992; Lave & Elias, 1994; Lund & Rauch, 1992; Zador & Lund, 1991). Het bleek moeilijk een goede controlegroep van wegen samen te stellen waaraan een stijging of daling in het ongevalsrisico kon worden gerefereerd (voor een overzicht zie bijvoorbeeld Finch et al., 1994; Vulcan, 1993).

Verder zijn er ook vanuit Australië en Nieuw-Zeeland diverse voor-nastudies bekend naar aanleiding van (soms kortstondige) snelheidslimietveranderingen (bijvoorbeeld Roads and Traffic Authority of New South Wales, 2000; voor een overzicht zie bijvoorbeeld Goldenbeld, 1993).

Ook in Nederland zijn door de SWOV enkele voor-nastudies gedaan bij de limietverandering op de meeste autosnelwegen van 100 naar 120 km/uur (Roszbach & Blokpoel, 1989; 1991). Deze limietverandering werd ingevoerd omdat zeer veel automobilisten zich niet meer aan de 100 km/uur-limiet hielden en men de snelheidsverdeling wilde uniformeren. De limietverhoging bleek echter alleen vlak na invoering van de maatregel tot lagere gemiddelde snelheden en tot minder spreiding in snelheid te leiden (Roszbach & Blokpoel, 1989), maar dit effect ebde in de loop van de tijd weer weg, nadat bestuurders aan de nieuwe situatie gewend waren geraakt (Roszbach & Blokpoel, 1991).

Het voordeel van een longitudinale studie is dat er handig meegelift kan worden met een snelheidsmaatregel die meestal op grote schaal wordt ingevoerd. Zo kunnen op eenzelfde weg de effecten van hogere of lagere snelheid op ongevallen worden onderzocht.

Aan deze methode kleven echter ook enkele belangrijke bezwaren. Zo ontbreken bij dergelijke voor-nastudies niet zelden een gedegen voormeting of een vergelijkbare groep controlewegen waarmee het effect van de

maatregel kan worden vergeleken. Indien men niet weet wat de aanvankelijke snelheid op een weg was voordat de limiet of het toezicht veranderd werd, kan niet het verband worden gelegd tussen de mate van snelheids- en ongevallenverandering. Wanneer een goede controlegroep ontbreekt, kunnen eventuele veranderingen in de ongevallenfrequentie niet eenduidig aan de limiet- of toezichtsverandering worden toegeschreven. Het is immers van belang hoe de ongevallenfrequentie zich gedraagt ten opzichte van de algemene trend over de tijd, die wordt bepaald door allerhande (haast oncontroleerbare) factoren. Bovendien worden wegen waarop de snelheidslimiet of het toezicht verandert hier meestal om bepaalde redenen voor geselecteerd. Zowel deze groep wegen als een zo veel mogelijk vergelijkbare controlegroep kunnen daardoor op essentiële kenmerken van elkaar verschillen, waardoor een eventueel waargenomen effect misschien niets met snelheid te maken heeft. Verder is uit diverse studies naar aanleiding van limietveranderingen gebleken, dat ze vooral op korte termijn niet alleen effect hebben op de gemiddelde snelheid, maar waarschijnlijk ook op de verdeling van snelheden op de weg. Hierdoor is het moeilijk te ontrafelen met welke snelheidsaspecten de ongevallen een relatie vertonen.

5.1.3. *Cross-sectionele studies / representatieve steekproefstudies*

Een andere weggeoriënteerde onderzoeksmethode die ook vaak wordt gebruikt is de cross-sectionele studie (of representatieve steekproefstudie). Hierbij worden op bepaalde typen wegen de voertuigsnelheden gemeten en gekoppeld aan het aantal (geregistreerde) ongevallen op de onderzochte wegvakken. Voorbeelden van dergelijk onderzoek zijn onder andere studies van Baruya (1998: meta-analyse gebaseerd op cross-sectionele data-verzameling), Garber & Gadiraju (1989), Lave (1985) en Taylor et al. (2000: studie naar verschillende urbane wegen).

Net als bij de voor-nastudies is een nadeel van cross-sectionele studies dat het niet bekend is met welke snelheid voertuigen hebben gereden die bij de geregistreerde ongevallen betrokken waren. Derhalve kan slechts een relatie tussen snelheid en het ongevalsrisico op de onderzochte wegen worden vastgesteld, maar niet de daadwerkelijke bijdrage van snelheid aan de kans om bij een ongeval betrokken te raken.

Een voordeel, zeker ten opzichte van voor-nastudies, is dat cross-sectionele studies een vergelijking maken tussen wegen die zo veel mogelijk verschillende karakteristieken met elkaar gemeen hebben. De relatie tussen snelheid en ongevalsrisico kan voor verschillende typen wegen beter worden onderzocht omdat zo veel mogelijk overige factoren constant worden gehouden. Onderzoekers zijn bovendien niet gebonden aan wegen waar de limiet verandert en kunnen daarom zo homogeen mogelijke groepen wegen met elkaar vergelijken.

5.1.4. *Casus-controlestudies*

Bij casus-controlestudies staat het individuele ongeval (de casus) centraal en wordt een bepaald kenmerk, in dit geval 'snelheid', vergeleken met dit kenmerk van een vergelijkbare controlegroep. De controlegroep wordt op basis van bepaalde eigenschappen aan de casus gekoppeld, zodat het kenmerk waarop de casus en controlegroep (mogelijk) verschillen, overblijft

als enige of een van de weinige verklarende factoren voor het ongeval. Voorbeelden van casus-controlestudies zijn de oude onderzoeken van Solomon (1964), Cirillo (1968) en het RTI (1970) of West & Dunn (1971), en recentelijk de studies van Kloeden et al. (1997; 2001).

Tussen deze oude en nieuwere casus-controlestudies is veel verschil in het aantal eigenschappen op basis waarvan de controlegroepen aan de casussen gekoppeld werden. In de studie van Solomon bijvoorbeeld, werden zowel van de casussen als van de controlegroep zeer veel achtergrondgegevens verzameld⁶ (zoals voertuigtype, sekse en reisdoel van de bestuurder, tijdstip, dag en seizoen). Het aan snelheid gekoppelde ongevalsrisico van de casus werd echter enkel gekoppeld aan de snelheden van de controlegroep door middel van berekende voertuigmijlen, die overigens wel waren gekoppeld aan tijdstip, dag en seizoen, maar niet aan sekse, reisdoel en voertuigtype (zie § 3.1). Het is wellicht daardoor dat studies zoals die van Solomon soms gezien worden als een cross-sectionele studie (bijvoorbeeld door Baruya, 1998).

In de recentere onderzoeken van Kloeden et al. (1997; 2001) werd het aan snelheid gekoppelde ongevalsrisico op basis van veel meer overeenkomstige factoren tussen casus en controlegroep vastgesteld. Net als in de studie van Solomon, verzamelden Kloeden et al. zeer veel gegevens van zowel de casus- als de controlevoertuigen (zoals rijrichting, rijgebied, tijdstip, dag van de week, weer, lichtsterkte, type voertuig, en natuurlijk de gemeten of nauwkeurig gereconstrueerde snelheid). In tegenstelling tot Solomon, gebruikten Kloeden et al. deze gegevens om controlevoertuigen aan casussen te koppelen en selecteerden ze net zo lang controlevoertuigen tot ze genoeg aantallen per casus hadden als vergelijkingsmateriaal op het aspect 'vrij gekozen snelheid'.

Het grote voordeel van casus-controlestudies voor onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevallen is dat ze, beter dan welke methode ook, de factor 'snelheid' op voertuigniveau aan het ongevalsrisico kunnen koppelen. Door het gebruik van een gekoppelde controlegroep, is het ongevalsrisico op basis van snelheid veel realistischer in te schatten dan bij de eerder besproken methoden, omdat er op voertuigniveau voor veel meer factoren kan worden gecontroleerd. In combinatie met diepteonderzoek is het daarnaast mogelijk een zeer nauwkeurige snelheidsschatting van de bij een ongeval betrokken voertuigen te maken.

Een groot nadeel van de casus-controlemethode is echter wel dat het kostbaar en arbeidsintensief onderzoek is. Dit is waarschijnlijk de reden dat er maar weinig onderzoeken op deze manier zijn uitgevoerd.

5.2. **Onderzoeksvragen en -methoden voor een Nederlandse studie**

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op interessante onderzoeksvragen en de ideale onderzoeksmethode voor een studie naar de snelheid-ongevallenrelatie op *Nederlandse* wegen. Daarnaast wordt de methode besproken die vermoedelijk het meest haalbaar is binnen het beschikbare

⁶ Bestuurders van controlevoertuigen werden na de snelheidsmeting aangehouden om een vragenlijst in te vullen. Dit is in de beschrijving van Solomon's onderzoek in § 3.1 niet vermeld omdat het niet relevant was voor de relatie tussen (spreiding in) snelheid en ongevallen.

kader. Dit kader wordt door verschillende aspecten zoals tijd, geld, en medewerking van betrokken partijen bepaald.

5.2.1. *Onderzoeksvragen voor een Nederlands studie naar snelheid en ongevalsrisico*

In de loop der tijd zijn er wereldwijd al diverse studies naar de relatie tussen snelheid en (de kans op) verkeersongevallen uitgevoerd. Met name de conclusies van een aantal oudere onderzoeken (bijvoorbeeld Solomon, 1964) blijken op basis van recentere onderzoeken (bijvoorbeeld Kloeden et al., 1997; 2001) niet meer de actuele situatie weer te geven. Het is dus de vraag in hoeverre met name *ouder* onderzoek dat nog vaak wordt aangehaald (bijvoorbeeld Finch et al. 1994) nog representatief is voor de *praktijk van nu*.

Daarnaast is het een belangrijke vraag in hoeverre het voornamelijk buitenlandse onderzoek representatief is voor de *Nederlandse situatie*. Uit het SUNflower-onderzoek bijvoorbeeld (Koorstra et al., 2002), blijkt dat er zelfs verschillen bestaan tussen landen die qua verkeersveiligheid erg op elkaar lijken. Zo onderscheidt Nederland zich van Zweden en het Verenigd Koninkrijk door het relatief hoge aantal kwetsbare verkeersdeelnemers en de hoge dichtheid van zijwegen. Hierdoor is het mogelijk dat veranderingen van snelheid op bepaalde wegen in Nederland hele andere effecten hebben op de verkeersveiligheid dan op basis van buitenlandse studies verondersteld zou worden.

De hierboven genoemde aspecten meegenomen, kunnen we ons op gedetailleerder niveau afvragen *welke snelheidsaspecten op welke manier* samenhangen met een toename van de kans op verkeersongevallen. Heeft absolute snelheid de meeste invloed op het ongevalsrisico, of is het zinvoller de snelheid op wegen te homogeniseren en snelheidsverschillen tussen voertuigen te reduceren?

Uit studies die verschillende factoren in relatie tot snelheid en ongevalsrisico onderzocht hebben, blijkt dat het *type weg* een belangrijke invloed uitoefent op de kwantitatieve relatie tussen snelheid en ongevalsrisico. In dergelijke studies ging het meestal om het onderscheid tussen wegen binnen en buiten de bebouwde kom (bijvoorbeeld Fildes et al, 1991; Kloeden et al., 1997; 2001). In Nederland is men bezig de wegen onder te verdelen in *Duurzaam Veilig-categorieën* (te weten: stroomwegen, gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen; zie Koorstra, 1992) die echter niet één op één samenhangen met het onderscheid tussen binnen en buiten de kom. Voor de Nederlandse situatie is het daarom relevant te onderzoeken hoe de relatie is tussen snelheid en de kans op verkeersongevallen op de verschillende Duurzaam Veilig-wegcategorieën, en in welke mate bepaalde wegkenmerken hierin een rol spelen (zoals wegbreedte, zijwegdichtheid, andere verkeersdeelnemers, ontwerpconsistentie, verkeersintensiteit).

Tot nu toe hebben alle onderzoeken naar de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico zich beperkt tot wegvakken en zijn kruisingen buiten beschouwing gelaten. In een aantal TRL-studies naar oorzaken van ongevallen op kruispunten (zie Taylor et al., 2000), is wel een poging gedaan de factor 'snelheid' als mogelijk ongevalsoorzaak te onderzoeken, maar deze bleek moeilijk te achterhalen of te reconstrueren, en was bovendien niet voor alle ongevallen in gelijke mate beschikbaar. Hoewel het dus een moeilijk te onderzoeken vraagstuk is, is de vraag daardoor niet minder interessant.

5.2.2. De ideale onderzoeksmethode

Uit het overzicht van onderzoeksmethoden in het eerste gedeelte van dit hoofdstuk, zal het duidelijk zijn geworden dat iedere methode voor- en nadelen heeft. Afhankelijk van het zwaartepunt waarop de methode beoordeeld wordt, komt de ene methode als beter uit de bus dan andere. Aangezien een onderzoeksmethode tot doel heeft op wetenschappelijk verantwoorde wijze bepaalde vragen te beantwoorden (bijvoorbeeld die uit de vorige paragraaf), staat bij de ideale onderzoeksmethode de *wetenschappelijke kwaliteit* voorop.

Bij onderzoek naar de relatie tussen snelheid, of spreiding in snelheid en de kans op ongevallen, willen we het liefst een zo direct mogelijk verband kunnen leggen. Indien we namelijk weten hoe snelheid, of eventueel daarmee samenhangende factoren, aan het ongevalsrisico bijdraagt, kunnen we het ongevalsrisico efficiënter verlagen. Het onderzoek naar factoren die ongevallen veroorzaken is echter gebonden aan veldonderzoek; het is immers niet ethisch een dergelijk onderzoek in een gecontroleerde omgeving te doen waar proefpersonen de kans lopen nare gevolgen aan het experiment over te houden. Daardoor is het echter zeer moeilijk een direct verband te leggen tussen snelheid en de kans op ongevallen. Er kan in het veld namelijk veel moeilijker voor allerlei factoren gecontroleerd worden. Toch is wel aan te geven welke van de eerder gebruikte onderzoeksmethoden meer of minder in de buurt komen van een ideale methode, waarin wel voor zo veel mogelijk factoren gecontroleerd kan worden.

In bestuurdergeoriënteerd onderzoek wordt een verband gelegd tussen de snelheid van een bestuurder op een bepaald moment op een bepaald type weg, en zijn of haar betrokkenheid bij ongevallen in het verleden. Daarmee is niet bekend hoe snel de bestuurder in absolute of relatieve zin ten tijde van het ongeval reed. Ook voor overige factoren is niet te controleren en daarom is deze methode zeker niet ideaal om de relatie te onderzoeken tussen snelheid en de kans om bij een ongeval betrokken te raken.

In voor-nastudies wordt een verband gelegd tussen de gemiddelde snelheid en ongevallen op een bepaald wegvak voor en na een verandering van de gemiddelde snelheid door een aangepaste snelheidslimiet of handhaving. Hierbij is niet bekend wat de snelheid was van individuele voertuigen die bij ongevallen betrokken waren, en soms is het ook nog lastig de tijdstrend onafhankelijk van de snelheidsmanipulatie te scheiden van het bewerkstelligde effect op verkeersongevallen. Bovendien onderscheiden wegen waarop de snelheidslimiet wordt veranderd zich meestal op bepaalde kenmerken van wegen waarop de snelheidslimiet ongewijzigd blijft, zodat er voor diverse factoren niet goed kan worden gecontroleerd.

Bij cross-sectionele studies kan ook geen verband worden gelegd tussen de snelheid van een bij een ongeval betrokken voertuig ten opzichte van de snelheid van de medeweggebruikers op dat moment. De gemiddelde snelheid gekoppeld aan de ongevallenfrequentie op het betreffende wegvak wordt over wegvakken vergeleken, maar hiermee is niet vast te stellen of de gemiddelde snelheid wel iets te maken had met het plaatsvinden van de ongevallen. Wel is beter te controleren voor verschillende factoren, omdat de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico op zo homogeen mogelijke groepen wegen kan worden onderzocht.

De casus-controlestudie voldoet methodologisch gezien aan goede wetenschappelijke voorwaarden om een relatie vast te stellen tussen snelheid en de kans om bij een ongeval betrokken te raken. Met deze methode is namelijk op voertuigniveau de snelheid aan ongevalsrisico te koppelen, en tevens is er voor allerlei kenmerken, zowel op wegvak- als op voertuig- en eventueel zelfs op bestuurdersniveau te controleren.

Na deze inventarisatie kan de *casus-controlestudie* dus als de ideale onderzoeksmethode worden aangemerkt om de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen te onderzoeken. Dit is tevens de methode die recentelijk nog grondig is verbeterd en toegepast (zie Kloeden et al., 1997; 2001). De onderzoeksmethode leent zich er tevens voor om de snelheid-ongevallenrelatie naar wegkarakteristieken te onderscheiden, indien de methode separaat op verschillende typen wegen wordt uitgevoerd.

5.2.3. *Haalbare onderzoeksmethoden*

Naast de wetenschappelijke eisen die aan een ideale onderzoeksmethode gesteld dienen te worden, zijn er ook praktische eisen waaraan moet worden voldaan. Een onderzoek moet haalbaar zijn binnen kaders die door praktische factoren worden bepaald. Met name onderzoek waarin ongevalldata verkregen moeten worden, kan zeer arbeidsintensief en tijdrovend zijn, daar ongevallen relatief zeldzaam zijn. De financiële en temporele kosten die het verzamelen van dergelijke gegevens met zich meebrengt, vallen vaak buiten de praktische mogelijkheden.

Weliswaar zou de casus-controlemethode wetenschappelijk gezien het beste zijn, er kleeft echter een aantal grote praktische bezwaren aan. Deze methode vereist namelijk zeer arbeidsintensief en langdurig onderzoek, omdat zo veel mogelijk gegevens van bij ongevallen betrokken voertuigen en controlevoertuigen moeten worden verkregen en aan elkaar worden gekoppeld. Binnen de projectplannen zoals die thans beschreven zijn in het onderzoeksprogramma 2003-2006 van de SWOV (SWOV, 2003), lijkt een casus-controleonderzoek derhalve niet haalbaar. We zullen dus naar een andere methode uit moeten wijken en deze wellicht moeten combineren met haalbare factoren van de casus-controlemethode.

De cross-sectionele onderzoeksmethode is de methode waarin, na de casus-controlestudie, nog het beste voor diverse factoren gecontroleerd kan worden. Cross-sectionele studies zijn in ieder geval een stuk minder arbeidsintensief omdat er van reeds geregistreerde ongevallen en snelheden gebruik kan worden gemaakt. Een *cross-sectionele studie* lijkt hiermee dus wetenschappelijk gezien een goede tweede, met bovendien een veel grotere haalbaarheid in financieel en temporeel opzicht dan de als 'ideaal' betitelde casus-controlestudie.

5.3. **Conclusies**

In dit hoofdstuk zijn vier onderzoeksmethoden onder de loep genomen die in het verleden gebruikt zijn om een relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen te achterhalen. Het ging daarbij om:

1. bestuurdergeoriënteerde of zelfrapportage studies, waarbij actuele snelheidsmetingen van bestuurders op een bepaalde locatie worden

- gekoppeld aan hun (algemene) verkeersongevalsverleden in een bepaalde vooraf gedefinieerde periode;
2. longitudinale of voor-nastudies, waarbij snelheids- en ongevallengegevens van bepaalde wegvakken voor en na een snelheidslimietverandering met elkaar worden vergeleken;
 3. cross-sectionele of representatieve steekproefstudies, waarbij snelheden en ongevallenfrequenties tussen verschillende wegvakken en wegtypen kunnen worden vergeleken;
 4. casus-controlestudies, waarbij ongevallen (casussen) op basis van zo veel mogelijk eigenschappen op voertuigniveau worden gekoppeld aan een groep controlevoertuigen die niet bij een ongeval betrokken is geraakt.

Van deze vier verschillende onderzoeksmethoden blijkt de casus-controlestudie de beste te zijn, omdat via deze methode op voertuigniveau naar de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico wordt gekeken, en bovendien voor zoveel mogelijk andere factoren kan worden gecontroleerd. Omdat de casus-controlestudie als groot nadeel heeft dat het duur en tijdrovend onderzoek is, komt de cross-sectionele studie (of representatieve steekproefstudie) als een goed alternatief uit de bus. In cross-sectionele studies wordt namelijk wel voor zo veel mogelijk factoren gecontroleerd, maar zijn er veel minder kosten.

6. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de besproken literatuur op het gebied van verkeersveiligheid in relatie tot absolute snelheid en spreiding in snelheid kunnen we conclusies trekken over wat er op dit gebied nu bekend is. Deze conclusies worden in § 6.1 tot en met § 6.3 systematisch besproken, evenals de eventuele aanbevelingen die daaruit vloeien. Aanbevelingen over de geschikteste onderzoeksmethode voor een snelheid-ongevallenstudie in Nederland volgen in § 6.4.

6.1. Absolute snelheid en ongevallen

Los van allerlei mogelijke externe invloedsfactoren kan gesteld worden dat hogere absolute snelheden tot een grotere kans leiden om bij een ongeval betrokken te raken. Hoeveel groter deze kans bij een bepaalde toename in snelheid is, is echter niet eenduidig. Een vaak geciteerde uitspraak van Finch et al. (1994) luidt dat 1 km/uur toename in snelheid tot 3% ongevallen-toename zou leiden. Een nadere beschouwing van de onderzoeksmethode van Finch et al. leert echter dat deze vuistregel weliswaar gemakkelijk is, maar niet erg betrouwbaar. Andere onderzoeken die tot veel betrouwbaardere resultaten komen, zoals de recente Australische studies van Kloeden et al. (1997; 2001), hanteren echter weer geen vuistregels die gemakkelijk in percentages toe- of afname van het ongevalsrisico zijn te vertalen. Deze studies vatten de betreffende relaties in formules samen. (Overigens leveren Kloeden et al. geen formule voor de relatie tussen snelheid en ongevallen in het algemeen, maar splitsen ze hun formules uit voor verschillende typen wegen.)

Naast het *kwantitatieve* verband tussen absolute snelheid en ongevallen, is ook het *type* verband tussen beide factoren van belang. Zo lijken de genoemde uitspraak van Finch et al. en andere TRL-uitspraken (bijvoorbeeld in Taylor et al., 2000) weliswaar op elkaar, omdat ze allemaal het percentage ongevallenreductie bij een bepaalde afname in snelheid noemen. Toch is het achterliggende verband waarop gedoeld wordt heel anders. Zo hebben Finch et al. het in hun uitspraak over een lineair verband: een verband dat bij een bepaalde toename in snelheid altijd evenveel toeneemt. Het merendeel van de studies (ook van TRL) hebben echter meer aanwijzingen gevonden dat de relatie tussen snelheid en ongevallen *exponentieelvormig* is, en dus bij een toename in snelheid een steeds grotere stijging in het ongevalsrisico laat zien.

Finch et al. opperen in hun studie ook de mogelijkheid dat de relatie tussen gemiddelde snelheid en toe- of afname in ongevalsrisico een asymptotische relatie zou vertonen. De veronderstelling die hieraan ten grondslag ligt is dat er een onder- en bovengrens zit aan het effect dat *snelheidsmaatregelen* op ongevallen *in het algemeen* kunnen hebben. Dit idee van een asymptotisch verband tussen snelheid en ongevalsrisico is echter verder door geen enkele andere studie aangetoond. Mede op basis van de methodologische problemen die er aan het onderzoek van Finch et al. kleven, is het daarom uiterst twijfelachtig of een dergelijk verband tussen snelheid en ongevalsrisico bestaat.

Samenvattend zou gesteld kunnen worden dat het verband tussen snelheid en ongevallen het meest waarschijnlijk exponentieelvormig is. Dat wil zeggen dat, hoe meer de snelheid toeneemt, hoe meer de *stijging* van het ongevalsrisico toeneemt. Door de verschillende bevindingen over het kwantitatieve verband, valt echter moeilijk te zeggen hoeveel procent het ongevalsrisico als gevolg van een bepaalde toename in snelheid zal stijgen. Daar komt nog bij dat het onzeker is of en in welke mate deze (buitenlandse) bevindingen ook gelden voor Nederland. Er is namelijk evidentie dat landen sterk van elkaar verschillen in de mate waarin snelheid de verkeersveiligheid beïnvloedt (zie bijvoorbeeld Baruya, 1998). Zelfs landen die sterk op elkaar lijken qua verkeersveiligheid, hebben afzonderlijk specifieke kenmerken die van invloed kunnen zijn op de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico (bijvoorbeeld Koornstra et al. 2002). Binnen de Nederlandse verkeerssituatie is vooralsnog geen systematisch onderzoek verricht naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen. Het verdient aanbeveling deze nader te onderzoeken om te weten te komen hoe ernstig de effecten van snelheidsveranderingen op de verkeersveiligheid zijn (bijvoorbeeld door het bijstellen van snelheidslimieten of het aanscherpen van toezicht). Aan de ene kant willen bestuurders in hun steeds beter uitgeruste voertuigen steeds harder rijden; aan de andere kant streeft men wel naar een verdere reductie van het aantal verkeersslachtoffers.

6.2. Spreiding in snelheid en ongevallen

Vooraf de oude en beroemde onderzoeken zoals die van Solomon (1964) en het RTI (1970) vonden min of meer bij toeval dat er een verhoogd ongevalsrisico was voor het verkeer dat veel langzamer of veel sneller reed dan de snelheid van het meeste verkeer op die weg. Uitgezet in een grafiek, leverde dat de bekende U-vormige curve op. Ook in theoretisch opzicht is een dergelijk verband zeer aannemelijk. Immers, voertuigen die niet 'met de stroom mee' rijden zullen veel vaker andere voertuigen achteroprijden (indien ze harder rijden dan de rest) of door andere voertuigen achteropgereden worden (indien ze langzamer rijden dan de rest) en daarmee in een toenemend aantal potentiële conflictsituaties belanden.

Recenter onderzoek naar het effect van verschil in snelheid op ongevallen, heeft deze oude onderzoeksresultaten echter niet kunnen repliceren (zie bijvoorbeeld Kloeden et al., 1997; 2001). Het is mogelijk dat de verkeerssituatie in de tussenliggende decennia dusdanig veranderd is, dat met name het verhoogde ongevalsrisico voor *langzame* rijders niet meer aan de orde is. Een mogelijke, maar niet onderzochte verklaring is dat de spreiding in snelheden op een bepaald type weg tegenwoordig veel minder groot is dan in de jaren zestig en zeventig. Solomon (1964) en ook Cirillo (1968) vonden namelijk dat het ongevalsrisico vooral sterk toenam bij snelheden die 30 mph (\approx 50 km/uur) onder de snelheid van het meeste verkeer lagen. Een dergelijk groot verschil in snelheid is niet erg waarschijnlijk bij het reguliere verkeer van tegenwoordig.

Andere recente onderzoeken naar spreiding in snelheid hebben niet op voertuigniveau plaatsgevonden, zoals de genoemde onderzoeken van Solomon, Cirillo en het RTI, maar op *wegvakniveau* (bijvoorbeeld Gaber & Gadiraju, 1998; TRL in Taylor et al., 2000). Hieruit bleek dat wegen die een grotere spreiding in snelheid vertoonden een groter ongevalsrisico hadden. Deze spreiding van snelheid bleek echter gerelateerd aan de absolute snelheid op een weg: wegen met een hoge snelheidslimiet vertoonden over

het algemeen een lagere spreiding in snelheid. Omdat deze onderzoeksresultaten over een geheel ander niveau gaan dan de resultaten van bijvoorbeeld Solomon (dus respectievelijk wegvak versus voertuig), zijn deze bevindingen niet echt vergelijkbaar.

Een ander punt dat uit onderzoek naar spreiding in snelheid en de kans op ongevallen naar voren is gekomen is dat de vorm van de snelheidsverdeling een rol zou spelen. Daarbij is vooral gevonden dat het *percentage hardrijders* bijdraagt aan de verkeersonveiligheid (bijvoorbeeld Fildes et al., 1991; Lave, 1985; TRL in Taylor et al., 2000). De vraag is echter of het hier dan nog over de relatie tussen spreiding in snelheid en ongevallen gaat, of dat dit deel uitmaakt van de relatie tussen absolute snelheid en ongevallen.

Op basis van bovenstaande bevindingen kunnen we concluderen dat de spreiding in snelheid tegenwoordig voornamelijk een rol speelt in de mate van verkeersveiligheid op wegvak- en niet op voertuigniveau. Waarschijnlijk hangt de spreiding in snelheid echter ook nauw samen met andere, aan het wegtype gekoppelde kenmerken, zoals de mate van interactie met ander verkeer. Het is daarom moeilijk om het effect van de verschillende maten op verkeersveiligheid goed van elkaar te kunnen scheiden.

De tot nu toe bekende onderzoeksresultaten over spreiding van snelheid en ongevallen zouden betekenen dat het voor de verkeersveiligheid vooral zin heeft om het percentage hardrijders en de gemiddelde snelheid van deze hardrijders naar beneden te krijgen. Een verhoogd ongevalsrisico samenhangend met *langzame rijders* is in het meest recente onderzoek naar verschil in snelheid en ongevalsrisico niet gevonden (Kloeden et al., 1997; 2001).

6.3. Wegkenmerken

De onderzoeksresultaten over de relatie tussen absolute snelheid, spreiding in snelheid en verkeersongevallen worden veel duidelijker indien allerlei relevante wegkenmerken worden meegenomen. Diverse recente studies hebben zeer eenduidige evidentie gevonden voor de interactie van verschillende wegkenmerken met de snelheid-ongevallenrelatie.

Zo blijkt het type weg van grote invloed op de kwantitatieve relatie tussen snelheid en ongevallen. Bij toenemende snelheid blijkt de toename in ongevalsrisico bovendien groter te zijn op stedelijke wegen dan op landelijke wegen. Stedelijke wegen worden gekenmerkt door relatief lage snelheidslimieten omdat er over het algemeen veel interactie is tussen verschillende soorten verkeersdeelnemers (Fildes et al., 1991; Kloeden et al., 1997; 2001; TRL in Taylor et al., 2000). We zouden dus kunnen stellen dat, binnen een bepaald type weg het ongevalsrisico toeneemt bij toenemende snelheid, maar dat deze toename kleiner is op wegen die ontworpen zijn voor hoge snelheden dan op wegen waar dit minder het geval is. Als er in onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevallen dus geen rekening zou worden gehouden met verschillende typen wegen, kan hierdoor een vertekening van de relatie ontstaan.

Ook diverse andere wegkenmerken zijn van invloed gebleken op de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico. Zo is er gevonden dat op bredere wegen weliswaar harder kan worden gereden, maar dat bij een toename van de snelheid het ongevalsrisico minder hard stijgt dan op smallere wegen

(Baruya, 1998). Daarnaast zou op wegen met meer afslagen het ongevalsrisico bij hogere snelheid harder stijgen dan op wegen die minder afslagen hebben (Baruya, 1998). Deze factoren hangen mogelijk ook weer nauw samen met het eerdergenoemde onderscheid tussen verschillende wegtypen en de mate van interactie tussen verschillende verkeersdeelnemers.

Meer in het algemeen is gevonden dat de *ontwerpsnelheid* en de *ontwerp-consistentie* van wegen ook van invloed zijn op snelheid en ongevalsrisico. Wegen bleken het veiligste indien de snelheidslimiet 10 mph (\approx 15 km/uur) onder de maximale veilige snelheid lag waarvoor de weg was ontworpen (Garber & Gadiraju, 1998). In aanvulling hierop toonde een aantal andere onderzoekers aan dat niet alleen de ontwerpsnelheid van een weg van belang was, maar vooral ook de *consistentie* in ontwerpsnelheid over langere stukken weg (bijvoorbeeld Krammes & Glascock, 1992; Lamm et al., 2000). Vooral te scherpe bochten bleken de consistentie in ontwerpsnelheid over de weg te reduceren. Wegen waarvan de ontwerpsnelheid meer dan 10 mph (\approx 15 km/uur) varieerde, waardoor bestuurders te veel hun snelheid aan moeten passen, bleken een hoger ongevalsrisico met zich mee te brengen.

Tevens zijn er aanwijzingen dat de verkeersintensiteit een rol speelt in de relatie tussen snelheid en de kans op bepaalde typen ongevallen. Bij een grotere verkeersintensiteit zou weliswaar de gemiddelde snelheid afnemen, maar het aantal potentiële conflictsituatie toenemen, waardoor het percentage meervoudige ongevallen toeneemt (RTI, 1970). Het omgekeerde zou dan gelden voor wegen met een lage verkeersintensiteit, wat dan tot hogere snelheden en daarmee samenhangend een hoger percentage enkelvoudige ongevallen zou leiden.

Hoewel het effect van de verkeersintensiteit op de snelheid-ongevallen-relatie in recent onderzoek wel wordt genoemd (Baruya, 1998), is verder niet veel bekend over deze exacte relatie.

Voor een beter en completer beeld van de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen in de Nederlandse situatie, is het dus belangrijk ook wegkenmerken in het onderzoek te betrekken. Aangezien alle studies totnogtoe de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico alleen hebben onderzocht op wegvakken, is het ook interessant te kijken naar een dergelijke relatie op kruispunten.

6.4. Onderzoeksmethoden

Er zijn in eerder onderzoek vier soorten onderzoeksmethoden gebruikt:

1. bestuurdergeoriënteerde of zelfrapportagestudie;
2. longitudinale of voor-nastudie;
3. cross-sectionele of representatieve steekproefstudie;
4. casus-controlestudie.

Aangezien de casus-controlestudie zo veel mogelijk ongevalsgegevens van een casus (waaronder snelheid) op voertuigniveau koppelt aan gegevens van een vergelijkbare controlegroep, is dit de ideale methode om de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico te onderzoeken. Omdat het echter een zeer kostbare methode is, komt de cross-sectionele studie om praktische redenen meer in aanmerking. Ook bij de cross-sectionele studie is het mogelijk te controleren voor allerlei kenmerken die mogelijk het

ongevalsrisico beïnvloeden. Er kan echter niet op voertuigniveau naar kenmerken, zoals snelheid, worden gekeken.

Voor een Nederlandse studie naar de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen, is een cross-sectionele methode binnen de beschikbare middelen het meest aan te bevelen. Dit onderzoek is de SWOV van plan in het kader van haar onderzoeksprogramma 2003-2006 te gaan uitvoeren. Vooralsnog heeft de inventarisatie van onderzoeksmethoden zich beperkt tot methoden die losgelaten worden op empirische data.

Literatuur

- AASHTO (1995). *A policy on geometric design of highways and streets 1994: the 1994 'green book'*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
- Andersson, G. & Nilsson, G. (1997). *Speed management in Sweden: speed, speed limits and safety*. Swedish National Road and Transport Research Institute VTI, Linköping.
- Barker, J. (2003). *The impact of speed on road safety*. Staff Papers PA/SE/3956/03. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
- Baruya, B. (1998). *Speed-accident relationships on European roads*. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
- Cirillo, J.A (1968). *Interstate system accident research; study II, interimreport II*. In: Public Roads vol. 35, nr. 3, p. 71-76.
- Cowley, J.E. (1987). *The relationship between speed and accidents: a literature review*. General Report, GR 87/2. Road Traffic Authority RTA, Hawthorn, Victoria.
- Fildes, B.N., Rumbold, G. & Leening, A. (1991). *Speed behaviour and drivers' attitude to speeding*. MUARC report No. 16. Accident Research Centre MUARC, Monash University, Clayton, Victoria.
- Finch, D.J., Kompfner, P., Lockwood, C.R. & Maycock, G. (1994). *Speed, speed limits and accidents*. Project Record S211G/RB /Project Report PR 58. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
- Garber, N.J. & Gadiraju, R. (1989). *Factors affecting speed variance and its influence on accidents*. Transportation Research record No. 1213, p. 64-71. Transportation Research Board, Washington D.C.
- Garber, N.J. & Gadiraju, R. (1991). *Impact of differential speed limits on highway speeds and accidents*. American Automobile Association AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, D.C.
- Godwin, S.R. (1992). *Effect of the 65 m.p.h. speed limit on highway safety in the U.S.A. (with comments and reply to comments)*. In: Transport Reviews vol. 12, nr. 1, p. 1-14.
- Goldenbeld, Ch. (1993). *Definitiestudie relatie rijnsnelheden en verkeersveiligheid. Fase 2: literatuuronderzoek*. R-93-72. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Goldenbeld, Ch. Bijleveld, F., Craen, S de, & Bos, N. (2004). *Effectiviteit van snelheidstoezicht en bijbehorende publiciteit in Fryslân. Effecten op snelheidsovertredingen en ongevallen op 80 en 100 km/uur-wegen in de*

periode 1998-2002. R-2003-27. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Hauer, E. (1971). *Accidents, overtaking and speed control*. In: Accident Analysis and Prevention vol. 3, nr. 1, p. 1-13.

Joksch, H.C. (1993). *Velocity change and fatality risk in a crash; A rule of thumb*. In: Accident Analysis and Prevention vol. 25, nr. 1, p. 103-104.

Kloeden, C.N., McLean, A.J. & Glonek, G. (2002). *Reanalysis of travelling speed and the risk of crash involvement in Adelaide South Australia*. Report No. CR 207. Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT.

Kloeden, C.N., McLean, A.J., Moore, V.M. & Ponte, G. (1997). *Travelling speed and the risk of crash involvement. Volume 1: findings*. Report No. CR 172. Federal Office of Road Safety FORS, Canberra.

Kloeden, C.N., Ponte, G. & McLean, A.J. (2001). *Travelling speed and the risk of crash involvement on rural roads*. Report No. CR 204. Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT.

Koornstra, M., Lynam, D., Nilsson, G., Noordzij, P., Petterson, H., Wegman, F. & Wouters, P. (2002). *SUNflower: a comparative study of the development of road safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Koornstra, M.J., Mathijssen, M.P.M., Mulder, J.A.G., Roszbach, R. & Wegman, F.C.M. red. (1992). *Naar een duurzaam veilig wegverkeer: Nationale Verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 1990/2010: vervolg op 'Iedereen kent wel iemand..'*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Krammes, R.A. & Glascock, S.W. (1992). *Geometric inconsistencies and accident experience on two-lane rural highways*. In: Operational effects of geometrics and geometric design Transportation Research Record No. 1356, p. 1-10. Transportation Research Board TRB, Washington D.C.

Lamm, R., Zurnkeller, K. & Beck, A. (2000). *Traffic safety: the relative effectiveness of a variety of road markings and traffic control devices*. In: Proceedings of the Conference Road Safety on Three Continents, 20-22 September Pretoria, South Africa. VTI Konferens 15A, p. 119-132. Linköping.

Lave, C.A. (1985). *Speeding, coordination, and the 55 m.p.h. limit*. In: The American Economic Review vol. 75, nr. 5, p. 1159-1164.

Lave, C.A. & Elias, P. (1994). *Did the 65 mph speed limit save lives ?* In: Accident Analysis and Prevention vol. 26, nr. 1, p. 49-62.

Liu, G.X. (1998). *Travel speed & speed differential and their effects on traffic safety*. In: Proceedings of the 1998 conference and exhibition of the Transportation Association of Canada TAC, Regina, Saskatchewan.

Lund, A.K. & Rauch, W.J. (1992). *On the contrary!: a comment on Lave and Elias's question "Did the 65 mph speed limit save lives?"*. Insurance Institute for Highway Safety IIHS, Arlington, VA.

Maycock, G., Brocklebank, P.J. & Hall, R.D. (1998). *Road layout design standards and driver behaviour*. TRL Report No. 332. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

Nilsson, G. (1982). *The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden*. In: Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic accidents and fuel consumption, 6-8 October 1981, Dublin. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, Paris.

Nilsson, G. (1993). *Speed research and current issues in Sweden*. In: The speed review: appendix of speed workshops papers, Fildes, B.N. & Lee, S.J. Monash University, Accident Research Centre MUARC, Clayton, Victoria.

Quimby, A., Maycock, G., Palmer, C. & Buttress, S. (1999). *The factors that influence a driver's choice of speed: A questionnaire study*. TRL Report No. 325. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

Roads and Traffic Authority of New South Wales (2000). *50 km/h urban speed limit evaluation : summary report*. Research Report, 3/00. Roads and Traffic Authority of New South Wales (RTA), Rosebery, NSW.

Roszbach, R. & Blokpoel, A. (1989). *Korte-termijn veiligheidseffecten van de 100 en 120 km/uur snelheidslimieten op rijkswegen*. R-89-48. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Roszbach, R. & Blokpoel, A. (1991). *Veiligheidseffecten van de invoering van 100- en 120 km/uur-snelheidslimieten op autosnelwegen: vervolg van de evaluatiestudie*. R-91-95. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

RTI (1970). *Speed and accidents, vol I & II*. Research Triangle Institute RTI, Durham, North Carolina.

Solomon, D. (1964). *Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle*. Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce, Washington D.C.

SWOV (2003). *SWOV-programma 2003-2006: onderzoek, kennisbeheer en kennisverspreiding*. R-2003-18. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Taylor, M.C., Lynam, D.A. & Baruya, A. (2000). *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. TRL Report, No. 421. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

Vulcan, P. (1993). *Current issues at national level in the USA*. In: The speed review: appendix of speed workshop papers, Fildes, B.N. & Lee, S.J. Monash University, Accident Research Centre, Clayton, Victoria.

West, L.B. & Dunn, J.W. (1971). *Accidents, speed deviation and speed limits*. In: Traffic Engineering vol. 41, nr. 7, p. 52-55.

Wilmot, C.G. & Khanal, M. (1999). *Effect of speed limits on speed and safety: a review*. In: Transport Reviews vol. 19, nr. 4, p. 315-329.

Zador, P.L. & Lund, A.K. (1991). *Comments on "Did the 65 mph speed limit save 3,113 lives ?" by Charles A. Lave*. Insurance Institute for Highway Safety IIHS, Arlington, VA.