

Definitiestudie relatie rijksnelheden en verkeersveiligheid

Fase 2: Literatuuronderzoek

R-93-72

Dr. Ch. Goldenbeld

Leidschendam, 1993

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 170
2260 AD Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Samenvatting

Bij de overheid bestaat de behoefte aan een nadere kwantitatieve onderbouwing van het snelhedenbeleid. Om dit te realiseren heeft de Adviesdienst Verkeer en Vervoer de SWOV opdracht verleend tot het uitvoeren van een definitiestudie over de relatie tussen rijsnelheden en verkeersongevallen. In dit rapport wordt verslag gedaan van een literatuuronderzoek naar deze relatie, hetgeen een onderdeel is van de tweede fase van de definitiestudie.

Eerst is ingegaan op het onderzoek naar de relatie tussen rijsnelheid en verkeersongevallen uit midden jaren zestig tot midden jaren zeventig. De besproken studies hebben aangetoond dat de ongevallenquotiënten van motorvoertuigen op 'highways' sterk afhankelijk zijn van hun relatieve rijsnelheden. Een minimum ongevallenquotiënt bleek samen te hangen met een rijsnelheid die enkele kilometers boven de gemiddelde snelheid op het betreffende weggedeelte ligt. Dit ongevallenquotiënt neemt dan monotoon toe naarmate de rijsnelheid meer naar boven of naar beneden afwijkt van de rijsnelheid die correspondeert met dit minimum. Er zijn verschillende mogelijke verklaringen voor de gevonden U-curve: meetfouten; interactie van kenmerken van weggebruikers en kenmerken van wegen, de manier van data-aggregatie, de relatie tussen rijsnelheden en het aantal passieve en actieve inhaalmanoeuvres.

Vervolgens zijn de resultaten beschreven van Nederlands onderzoek dat relevant is voor de relatie tussen rijsnelheden en verkeersongevallen. De meest opvallende resultaten zijn afkomstig van een onderzoek van Oei & Polak met geautomatiseerd snelheidstoezicht op 80 km/uur-wegen. Op de onderzochte 80 km/uur-wegen gingen reducties in gemiddelde snelheid (van 78 naar 72 km/uur), in de standaardafwijking van de rijsnelheden van (10 km/uur naar 8 km/uur) en in het percentage limietovertreders (van 38% naar 11%) gepaard met een totale ongevallenreductie van circa 35%. Verder is een overzicht gegeven van resultaten van onderzoek naar rijsnelheid en verkeersongevallen in Scandinavische landen. Zowel in de formules van Salusjärvi als die van Nilsson worden kleine reducties in rijsnelheden gekoppeld aan grote reducties in ernstige ongevallen. In het laatste hoofdstuk worden bij deze formules enige kritische kanttekeningen geplaatst.

De Amerikaanse federale overheid bepaalde dat vanaf april 1987 de snelheidslimieten op 'interstate highways' buiten stedelijke gebieden met meer dan 50.000 inwoners verhoogd mogen worden van 88 km/uur tot 104 km/uur. Tegen het einde van hetzelfde jaar hadden 38 staten de snelheidslimiet verhoogd op de meeste secties van de 'rural interstate highways'. Amerikaans onderzoek over de effecten van deze limietverhoging op rijsnelheden en ongevallen wordt besproken, gevolgd door een bespreking van onderzoek naar de effecten van limietverhoging in het Australische Victoria en in Nieuw-Zeeland.

Het rapport wordt afgerond met een discussie van de belangrijkste resultaten waarin tevens kort wordt ingegaan op strategieën voor vervolgonderzoek.

Summary

Definition study into the relationship between driving speed and traffic accidents

Phase 2: Literature study

This report is the second part of a four-part study in preparation of research into the relationship between driving speeds and road safety. It contains the literature study.

First, the study into the relationship between driving speed and road accidents from the mid-1960s to the mid-1970s was considered. The studies discussed have shown that the accident rate (the number of accidents per unit of travelled distance) of motor vehicles on the motorways is largely dependent on their relative speeds. A minimum accident rate was shown to be related to a driving speed several kilometres greater than the average speed recorded for that part of the road. This accident rate then increases monotonously as the driving speed diverges further above or below the driving speed corresponding with this minimum. There are various possible explanations for the resultant U-curve: measurement errors; interaction between characteristics of road users and characteristics of roads, the method of data aggregation, the relationship between driving speeds and the number of passive and active overtaking manoeuvres.

Subsequently, the results of Dutch research relevant to the relationship between driving speeds and road accidents are described. The most notable results were derived from a study by Oei & Polak concerning automated speed enforcement on 80 km/hr roads. On the 80 km/hr roads investigated, reductions in the average speed (from 78 to 72 km/hr), in the standard deviation of driving speeds (10 km/hr to 8 km/hr) and in the percentage of speed limit offenders (from 38% to 11%) were associated with an overall accident reduction of approximately 35%.

In addition, an overview is given of the results of a study into driving speed and road accidents in Scandinavian countries. The formulas used by both Salusjarvi and Nilsson link minor reductions in driving speeds to major reductions in the number of serious accidents. The final chapter offers some critical comments with respect to these formulas.

The American federal government determined that as of April 1987, the speed limit on interstate highways outside urban areas with more than 50,000 inhabitants could be raised from 88 km/hr to 104 km/hr. By the end of that same year, 38 states had raised the speed limit on most sections of the rural interstate highways. American research into the effects of this increased speed limit on driving speeds and accidents is discussed, followed by a discussion of study into the effects of raising the speed limit in the Australian state of Victoria and in New Zealand.

The report is completed by a discussion of the principal results, where the strategies for follow-up study are also considered in brief.

Inhoud

Voorwoord

1. *Inleiding*
 - 1.1. De studie van Solomon
 - 1.2. De studie van Cirillo
 - 1.3. Onderzoek van het Research Triangle Institute
 - 1.4. Een theoretische verklaring voor de U-curve
 - 1.5. Relaties tussen ongevallen en verkeersstroomkenmerken

2. *Onderzoek in Nederland*
 - 2.1. Onderzoek naar de effecten van de limietwijziging
 - 2.2. De effecten van geautomatiseerd toezicht op snelheid en ongevallen

3. *Onderzoek in de Scandinavische landen*
 - 3.1. Onderzoek in Denemarken
 - 3.2. Onderzoek in Noorwegen
 - 3.3. Onderzoek in Finland
 - 3.4. Onderzoek in Zweden

4. *Onderzoek in de Verenigde Staten*
 - 4.1. Het schatten van de effecten van limietverandering: methoden en technieken
 - 4.2. Effecten van de limietverhoging
 - 4.3. Uniforme vs. gedifferentieerde limieten

5. *Onderzoek in Australië en Nieuw-Zeeland*
 - 5.1. Limietverhoging in Victoria (Australië)
 - 5.2. Limietverhoging in Nieuw-Zeeland

6. *Discussie en conclusies*

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 11

Bijlage 1

Voorwoord

Bij de overheid bestaat behoefte aan een nadere kwantitatieve onderbouwing van het snelhedenbeleid. Beter dan nu op grond van bestaande kennis het geval is, zouden de effecten van dit beleid op de verkeersonveiligheid op voorhand moeten kunnen worden ingeschat. Het accent ligt hierbij op het beleid jegens snelheden van personenauto's.

Om dit naderbij te brengen is een ongeveer tweejarige onderzoekinspanning voorgenomen, die in de jaren 1994-95 zou moeten worden gerealiseerd. Hierin zouden de verbanden tussen snelheidskenmerken en ongevalen (doden, letsels) zo goed mogelijk kwantitatief moeten worden gespecificeerd. Hoewel hierbij op voorhand enige prioriteit wordt gegeven aan autosnelwegen en 80 km/uur-wegen is in dit stadium nog geen wegtype uitgesloten.

Gezien de breedte van dit onderzoekerrein, de weinige kwantitatieve kennis die hierop al voorhanden is, het ingewikkelde karakter - en daarmee de kostbaarheid en tijdrovendheid - van empirisch onderzoek naar de relatie tussen snelheid en onveiligheid, en de beperkingen in duur van het onderzoek, is het noodzakelijk om tot een goed onderbouwde prioriteitstelling te komen, opdat een voor besluitvormingsdoeleinden optimaal resultaat wordt verkregen.

Voor dit doel is besloten aan het onderzoek een definitiestudie vooraf te doen gaan. Hierin zou vanuit bestaande kennis, model- en theorievorming, een overzicht van relevante onderzoeksmethoden en een overzicht van relevante beschikbare gegevens, resp. de benodigde inspanning om zulke gegevens beschikbaar te krijgen, zichtbaar moeten worden gemaakt welke onderzoekingen tegen welke inspanning wat voor resultaat en meerwaarde zullen opleveren.

Dit moet dan weer het handvat leveren om vanuit beleidsmatige overwegingen tot een optimale mix of optimaal onderzoekstraject binnen de geldende randvoorwaarden te kunnen komen.

De studie is hiertoe gesplitst in vier onderdelen:

1. Theoretische analyse
2. Literatuuronderzoek
3. Beschrijving van vervolgotrajecten
4. Notitie met aandachtspunten ter voorbereiding van de besluitvorming.

Deze rapportage betreft Fase 2: Literatuuronderzoek. Zij is verricht in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat, projectbegeleiding: ir. J.W.D. Catshoek.

1. Inleiding

Op voorhand kan over de manier waarop rijnsnelheid van voertuigen samenhangt met de kans op of de ernst van ongevallen het volgende gesteld worden:

1. Hoe hoger de rijnsnelheid, des te groter de afstand die wordt afgelegd voordat de bestuurder kan reageren op een noodsituatie.
2. De relatie tussen rijnsnelheid en botsernst neemt toe met het kwadraat van de snelheid. Wanneer een bestuurder bijvoorbeeld zijn snelheid verhoogd van 40 naar 120 km/uur dan is er een *drievoudige toename* in snelheid, maar de te verwerken botsenergie is *vernegenvoudigd*.
3. Hoe hoger de rijnsnelheid, des te groter de afstand die nodig is om het voertuig stilstaand te brengen.
4. Vanwege de centripetale krachten verminderen hogere rijnsnelheden het vermogen van een voertuig om bochten veilig te nemen.
5. Bij hogere botssnelheden worden veiligheidsvoorzieningen zoals gordels zwaarder belast waardoor deze maatregelen een minder beschermend effect hebben.

De in de punten 1, 3 en 4 genoemde relaties hebben betrekking op de kans om een ongeval te vermijden en vallen onder de categorie 'primaire preventie'. De in de punten 2 en 5 genoemde relaties betreffen de ernst van het ongeval nadat een botsing is geschied. Hierbij gaat het om 'secundaire preventie'.

In het algemeen kunnen we stellen dat rijnsnelheid alleen niet de oorzaak is van verkeersongevallen. Het is veelal een combinatie van factoren die voor een probleem zorgen. Het is de kunst van de automobilist om in elke situatie zijn snelheid aan te passen aan de mogelijkheden die weg, omgeving en verkeersstroom bieden.

In dit eerste hoofdstuk stellen we vooral de bevindingen van het vroege onderzoek uit de jaren zestig en begin jaren zeventig aan de orde. Cowley (1987) onderscheidt twee benaderingen in het onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevallen:

1. Onderzoek naar de snelheden van bij ongevallen betrokken voertuigen in vergelijking met snelheden in de verkeersstroom met als doel die delen van de snelheidsverdeling te kunnen aanwijzen die verband houden met een groot ongevallenquotiënt (De term 'ongevallenquotiënt' betreft in dit rapport altijd het aantal ongevallen per afgelegde afstand; in Amerikaans onderzoek gaat het dan om het aantal ongevallen per 10, of soms 100 miljoen, voertuigmijlen; in Europees onderzoek betreft dit quotiënt veelal het aantal ongevallen per miljoen of 10 miljoen voertuigkilometers).
2. Onderzoek naar de relatie tussen veranderingen in de snelheidsverdelingen en veranderingen in ongevallen- en letsselfrequenties, veelal na invoering van snelheidsmaatregelen. Het vroege onderzoek dat in dit hoofdstuk besproken wordt, valt grotendeels binnen de eerstgenoemde onderzoekbenadering.

In de Hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 zal worden ingegaan op meer recent onderzoek per afzonderlijk land of werelddeel. Veelal betreft het hier onderzoek naar de effecten van limietverandering op ongevallen en rijnsnel-

heden. Dit type onderzoek kan gerubriceerd worden onder de tweede onderzoekbenadering. Hoofdstuk 6 tenslotte geeft een algemene discussie en conclusies.

1.1. De studie van Solomon

Een inmiddels tot klassiek bestempelde studie naar de relatie tussen snelheid, bestuurderskenmerken, autokenmerken en ongevallen werd gedaan door Solomon (1964). Voor zijn onderzoek maakte Solomon gebruik van bijna 10.000 ongevallenregistratieformulieren en van bijna 290.000 interviews met bijna 290.000 automobilisten. We beperken ons bij de weergave van de resultaten van deze studie tot de relatie snelheid en ongevallen.

Methodes

De onderzoeker verzamelde gegevens over een netwerk van 965 kilometers van 'rural highways', bestaande uit 35 weggedeelten in 11 verschillende staten. De afzonderlijke weggedeelten waren tussen de 8 en 80 kilometers lang, met een gemiddelde lengte van 27 kilometer. Van de 34 weggedeelten waren er 27 met twee rijstroken waarop de gemiddelde verkeersintensiteit varieerde van 5.000 tot 24.000 voertuigen per dag. Gemiddeld had elke 4,8 kilometer highway vier kruisingen en twee uitritten naar roadside businesses.

Op elk weggedeelte werd een plek gekozen die representatief werd geacht voor de gemiddelde snelheid over het gehele weggedeelte. Op de 35 uitgekozen plekken werden snelheidsregistraties verricht van 290.000 automobilisten in de periode van 1957-1958. Deze registraties vonden op dagen en nachten plaats, op weekdays en zondagen, in verschillende seizoenen van het jaar. De aldus verkregen snelheidsgegevens zijn volgens Solomon zeer waarschijnlijk representatief voor de snelheid van het dagelijkse verkeer op de typische locaties op de main rural highways. Op een punt uit het gezicht van de registratieplek werden de bestuurders waarvan de snelheid was geregistreerd, gestopt en geïnterviewd ten einde informatie te verkrijgen over de leeftijd, sekse en plaats van vestiging van de bestuurder.

De ongevalgegevens voor de analyse waren afkomstig uit 10.000 ongevallenregistratieformulieren van ongevallen die zich de afgelopen 3 à 4 jaar hadden voorgedaan op de 965 kilometers weg.

Resultaten

De voornaamste uitkomsten van het onderzoek wat betreft de relatie tussen snelheid en ongevallen waren de volgende:

1. De betrokkenheid bij ongevallen per afgelegde afstand neemt toe bij grote afwijkingen van de gemiddelde snelheid. Als we ongevallenbetrokkenheid op een y-as plaatsen en gemiddelde snelheid op een x-as, dan vinden we een U-curve (zie Afbeelding 1). Wanneer het aantal letselon-gevallen per afgelegde afstand en de hoeveelheid materiële schade in dollars per afgelegde afstand worden afgezet tegen de gemiddelde snelheid, vinden we opnieuw U-curves (zie Afbeeldingen 2 en 3).
2. Een analyse van de gegevens over de 35 individuele weggedeelten leverde opnieuw de bij punt 1 genoemde U-curve. Meer specifiek constateert de onderzoeker dat de ongevallenbetrokkenheid minimaal was bij een snelheid die doorgaans 8 tot 16 kilometer hoger was dan de gemiddelde snelheid op het individuele weggedeelte.
3. Het snelheidsverschil van twee bij een kop-staartongeval betrokken

personenauto's is in het algemeen veel groter dan dat van twee willekeurige personenauto's uit de verkeersstroom.

4. De ernst van ongevallen neemt toe naarmate de snelheid toeneemt (zie Afbeelding 4).

5. Het aantal doden per 100.000 afgelegde voertuigkilometers neemt toe met hogere snelheid en is het laagst in de buurt van de gemiddelde snelheid.

6. Van de ongevallen overdag waren 46% kop-staartbotsingen (insluitende 'same direction sideswipe'), en 33% enkelvoudige ('single vehicle') ongevallen. Van de nachtelijke ongevallen waren 40% kop-staartbotsingen en 46% enkelvoudige ongevallen. Minder dan 6% van de dagelijkse of nachtelijke ongevallen hadden betrekking op meer dan drie voertuigen.

Methodologische kanttekeningen

Bij de studie van Solomon kunnen de volgende methodologische kanttekeningen worden geplaatst:

1. Solomon gebruikte schattingen van rijnsnelheden die gebaseerd zijn op ongevallenrapporten en op getuigenissen van politie-agenten en van getuigen. De vraag is echter hoe betrouwbaar deze schattingen zijn.

White en Nelson (1970) komen, op grond van redelijk lijkende veronderstellingen¹ omtrent gemaakte schattingsfouten, tot de conclusie dat deze fouten geleid kunnen hebben tot het U-vormig verband zonder dat dit werkelijk bestaat.

2. De ongevallenbetrokkenheid per afgelegde afstand werd berekend door het aantal bij ongevallen betrokken bestuurders te delen door het daarmee samenhangende afgelegde voertuigafstand in termen van honderd miljoen voertuigkilometers. Cowley (1987) merkt op dat de term 'voertuigbetrokkenheid bij ongevallen' of 'betrokkenheid van bestuurders bij ongevallen' een meer precieze omschrijving is van de door Solomon gehanteerde maat.

3. De onderzoeker constateert dat het niet mogelijk was de ongevallen op kruisingen apart te coderen van de overige ongevallen. Er mag aangenomen worden dat de ongevallen met een snelheid tussen 16 en 50 km/uur voor een groot deel hebben plaatsgevonden op kruisingen. Volgens de onderzoeker heeft echter de verwijdering van deze ongevallengegevens geen consequenties voor één van de belangrijkste conclusies van de studie, namelijk: de ongevallenbetrokkenheid is het laagst in de buurt van de gemiddelde snelheid en het hoogst bij zeer lage snelheden en zeer hoge snelheden.

4. De geschatte snelheid van de bij ongevallen betrokken automobilisten was niet de botsnelheid, maar de snelheid die de bestuurder aanhield voordat hij alert was geworden op het naderende gevaar van een ongeluk.

¹ De veronderstellingen van White en Nelson zijn dat de rijnsnelheden van bij ongevallen betrokken voertuigen vlak voor het plaatsvinden van het ongeval normaal verdeeld zijn met gemiddelde μ_a en standaardafwijking σ_a (in notatie $N(\mu_a, \sigma_a)$), en dat ook de fouten bij het schatten van de rijnsnelheden van bij ongevallen betrokken voertuigen normaal verdeeld zijn ($N(\mu_e, \sigma_e)$). Als de rijnsnelheden van alle voertuigen ook normaal verdeeld zijn met gemiddelde μ_a en standaardafwijking σ_a , dan volgt daaruit een interessante conclusie: 'It is of interest to note that if speeds of all vehicles are also normally distributed with mean μ_a and standard deviation σ_a , the involvement rate is independent of the speed, i.e., the involvement rate is a constant' (White en Nelson, 1970; p. 70).

5. Ongeveer 21% van de ongevallenrapporten bevatten geen indicatie van de rijsnelheid. Voor deze ongevallen werd de snelheid 'prorated' op basis van andere bestuurder- en voertuigkenmerken.
6. De cijfers inzake ongevallenbetrokkenheid werden alleen berekend wanneer tenminste 10 ongevallen hadden plaatsgevonden. 'This procedure was followed to ensure that the rates were based on an adequate number of accident involvements' (Solomon, 1964; p. 8).

1.2. De studie van Cirillo

Cirillo (1968) rapporteert over een studie naar rijsnelheid en ongevallen waarbij gebruik werd gemaakt van gegevens over ongevallen op 'interstate highways'. Cirillo nam de schattingen van de snelheden van bij ongevallen betrokken voertuigen over uit de ongevallenrapporten van de politie. De studie van Cirillo wijkt in een aantal opzichten af van die van Solomon:

1. De geanalyseerde ongevallen betroffen kop-staart en 'angle' botsingen en 'same-direction sideswipe accidents' die overdags tussen 9.00 en 16.00 uur hadden plaatsgevonden.
2. Frontale botsingen, botsingen met voetgangers en 'single vehicle' botsingen werden niet meegenomen.

De veronderstelling was dat het effect van snelheidsverschillen tussen voertuigen het best vastgesteld kon worden aan de hand van ongevallen waarbij twee of meer voertuigen betrokken waren, die in dezelfde richting reden.

Resultaten

De voornaamste resultaten waren de volgende:

1. De ongevallenbetrokkenheid afgezet tegen de afwijking van de gemiddelde snelheid laat opnieuw een U-curve zien.
2. De laagste ongevallenbetrokkenheid doet zich voor bij een snelheid van 19 kilometer boven de gemiddelde snelheid.

Het laatste resultaat schrijft Cirillo toe aan de meetfout inherent aan het schatten van snelheden. 'One might expect the lowest involvement rate to occur at the mean speed; but the variation inherent in collecting and estimating speed data is possibly the reason that the lowest involvement rate occurs at +12 m.p.h. above the mean speed' (Cirillo, 1968; p. 72).

1.3. Onderzoek van het Research Triangle Institute

Methode

Tijdens het 13 maanden durende onderzoek werden 200 ongevallen bestudeerd op 112 kilometer weglengte staatswegen ('state highways') in Monroe County, Indiana. Tevens werden 94 ongevallen op county roads onderzocht. Vanwege onvoldoende informatie over 'volume-time' werden deze laatste ongevallen niet gebruikt in de analyse van de ongevallenbetrokkenheid van voertuigen met verschillende snelheden.

Er was sprake van een driedelig dataverzamelingsproces: 1. snelheidsregistratie met radar; 2. ongevallenonderzoek ter plaatse en 3. een computersysteem voor het continu registreren van verkeerskenmerken (snelheid; 'headway', 'length').

1. Snelheidsregistratie met radar

De staatswegen werden aselekt opgedeeld in segmenten van 1,6 kilometer. Op elk segment werden 15 minuten durende 'spot speed' metingen gedaan op verschillende tijdstippen onder verschillende omgevingscondities. 'Radar speed readings' werden ook verzameld bij elke ongevallenlocatie. Gepoogd werd het tijdstip van de dag, locatie, dag van de week en omgevingscondities zoveel mogelijk te doen lijken op die ten tijde van het ongeval. Voor elk ongeval werden snelheden geobserveerd voor een minimum aantal van 200 voertuigen waarbij minstens 50 voertuigen in dezelfde richting reden als de bij een ongeval betrokken voertuigen.

2. Onderzoek ter plaatse

Onderzoek ter plaatse vond plaats in de maanden december 1968 tot en met juli 1969. Onderzoekers waren op 24-uursbasis oproepbaar. Het onderzoek ter plekke werd afgerond met een schriftelijk rapport inclusief het officiële politierapport, een diagramtekening van het ongeval, foto's, en eventuele technische analyses. Dit rapport werd dan besproken en vervolgens werden de snelheden van de bij het ongeval betrokken voertuigen geschat. In de periode augustus - december 1969 werd geen onderzoek ter plekke meer gedaan; in deze periode vonden nog 48 van de 200 ongevallen plaats. In deze periode werd meer tijd gespendeerd aan snelheidsmetingen met behulp van een computersensorsysteem en werd ook een Seminar Ongevallenonderzoek opgezet voor de politiefunctionarissen.

3. Computerregistratie

De verzameling van snelheids- en 'headway' gegevens op acht registratieplekken begon in mei 1969, zes maanden na de start van het ongevallenonderzoek. Geregistreerd werden voertuiglengte, voertuigsnelheid, tijdstip van de dag, locatie en 'time headway'.

Voor de analyse van de relatie tussen afwijking van de gemiddelde snelheid en ongevallenbetrokkenheid werd gebruik gemaakt van een beperkt aantal (vijf) klassen voor het weergeven van de afwijking van de gemiddelde snelheid. Het doel hiervan was om de invloed van de fout bij het schatten van de snelheden van de bij ongevallen betrokken voertuigen te minimaliseren.

Resultaten

De voornaamste resultaten van het onderzoek waren de volgende:

1. Er werd een U-vormige relatie gevonden tussen ongevallenbetrokkenheid (het aantal bij ongevallen betrokken bestuurders per miljoen voertuigkilometers) en afwijking van de gemiddelde snelheid.
2. De resultaten in Tabel 1 tonen de gegevens over ongevallenbetrokkenheid voor alle overheidswegen in Monroe County. Ongevallen met afslaanmanoeuvre werden buiten deze analyse gelaten. Zoals we kunnen zien is de waarschijnlijkheid om bij een ongeval betrokken te raken een factor 10 hoger als men met snelheden rijdt die aanzienlijk afwijken (d.w.z. ongeveer 24 km/uur) van de gemiddelde snelheid in de verkeersstroom.
3. De gevonden U-vormige relatie is duidelijk minder geprononceerd dan de Solomon-curve. Bovendien moet opgemerkt worden dat de ongevallenbetrokkenheid ook afhangt van het type weg (zie Tabel 1).

Afwijking van gemiddelde snelheid	Ongevallenbetrokkenheid
Alle overheidswegen:	
< -24.8 km/uur	9.8
-24.8 tot -8.8 km/uur	0.8
-8.8 tot + 8.8 km/uur	0.8
+8.8 tot 24.8 km/uur	1.3
> +24.8 km/uur	9.8
Highways 46, 45 en 48:	
< -24.8 km/uur	21.0
-24.8 tot -8.8 km/uur	1.1
-8.8 tot + 8.8 km/uur	0.9
+8.8 tot 24.8 km/uur	1.9
> +24.8 km/uur	19.3
Highway 37	
< -24.8 km/uur	6.3
-24.8 tot -8.8 km/uur	0.7
-8.8 tot + 8.8 km/uur	0.8
+8.8 tot 24.8 km/uur	1.0
> +24.8 km/uur	6.9

Tabel 1. *Afwijking van gemiddelde snelheid en ongevallenbetrokkenheid (aantallen bij ongevallen betrokken bestuurders per miljoen voertuigkilometers) voor verschillende overheidswegen in Monroe County (Bron: RTI, 1970).*

Commentaar op de vroege studies

De besproken studies van Solomon (1964), Cirillo (1968), en RTI (1970) hebben aangetoond dat de ongevallenquotiënten van motorvoertuigen op 'highways' sterk afhankelijk zijn van hun relatieve rijsnelheden. Een minimum ongevallenquotiënt bleek samen te hangen met een rijsnelheid die enkele kilometers boven de gemiddelde snelheid op het betreffende weggedeelte ligt. Dit ongevallenquotiënt neemt dan monotoon toe naarmate de rijsnelheid meer naar boven of naar beneden afwijkt van de rijsnelheid die correspondeert met dit minimum. Een uitgewerkte theoretische verklaring voor de gevonden U-curve wordt in de besproken studies nauwelijks gegeven. Evenmin leggen deze studies een basis op grond waarvan de resultaten gegeneraliseerd kunnen worden om te schatten wat het effect is van snelheidsbeperking op het ongevallenquotiënt van een personenauto. White en Nelson (1970) hebben erop gewezen dat het door Solomon gerapporteerde ongevallenquotiënt (aantal ongevallen per 100 miljoen voertuigmijlen) vatbaar is voor meetfouten; zij hebben getoond hoe de vorm van de totale ongevallenquotiënt-curve volledig afgeleid zou kunnen worden door hypothetisch dergelijke meetfouten te superponeren op een constante ongevallenquotiëntencurve. Een theoretische verklaring voor de gevonden curve wordt gegeven door Hauer (1971). Deze verklaring komt aan de orde in de volgende paragraaf.

1.4. Een theoretische verklaring voor de U-curve

Hauer (1971) geeft een theoretische verklaring voor de door Solomon gevonden U-curve tussen ongevallenbetrokkenheid (het aantal bij ongevallen betrokken bestuurders gedeeld door het aantal voertuigkilometers) en rijsnelheid. In deze paragraaf beperken wij ons tot het weergeven van deze verklaring in algemene bewoordingen. Voor de mathematische uitwerking van deze verklaring verwijzen we naar Bijlage 1.2.

Volgens Hauer kunnen de verklaringen voor de U-curve in de volgende richtingen gezocht worden:

1. Langzaamrijders en snelrijders hebben specifieke rijstijlen die tot een hogere ongevallenbetrokkenheid leiden. ‘..ene could argue, that slow drivers are of the hesitant and uncertain type and are thus to be expected to have a poor driving record’ (Hauer, 1971; p. 1). Volgens deze aanpak wordt de vorm van de U-curve verklaard op grond van bestuurderskenmerken.
2. Het proces van data-aggregatie kan bepaalde causale relaties aan het oog onttrekken. ‘For example, it is conceivable that many low speed accident involvement were counted on lower standard roads. Thus, it might be the dangerous road which is really at fault and not the low speed’ (Hauer, 1971; p. 2). Deze benadering mondt noodzakelijkerwijs uit in het weerleggen van de U-curve relatie.
3. Het verklaren van de U-curve op basis van theoretische overwegingen over de relaties tussen inhalen, snelheid en ongevallen. Deze derde benadering wordt in het artikel van Hauer verder uitgewerkt.

Volgens Hauer is er een relatie tussen het aantal inhaalmanoeuvres en ongevallen. De acties die samengaan met het voorbereiden, uitvoeren en beëindiging van een inhaalmanoeuvre, zullen veelal één schakel vormen in de keten van gebeurtenissen waarvan een ongeval het resultaat is.

Verder veronderstelt Hauer dat het totale aantal inhaalmanoeuvres die een bestuurder actief uitvoert of passief ondergaat gedurende een rit van vaste lengte, afhangt van de gekozen rijsnelheid. Zowel empirische als theoretische aanwijzingen zijn voorhanden zodat het hier gaat om meer dan enkel een veronderstelde relatie. De onderzoeker merkt op dat bestuurders geen op ervaring gebaseerd inzicht hebben in de relatie tussen snelheidskeuze en aantal inhaalmanoeuvres. ‘There seems to be a complete absence of experience-based intuition in this respect’ (Hauer 1971; p. 5).

Hauer leidt theoretisch de relatie af tussen het aantal inhaalmanoeuvres (actief en passief) per afgelegde voertuigmijl en de rijsnelheid. Dit is een U-curve die, zowel beschouwd voor ongevallen overdag als beschouwd voor ongevallen 's nachts, erg veel gelijkenis vertoont met de door Solomon gevonden U-curve (zie Afbeelding 5).

Volgens Hauer is hier geen sprake van toeval, maar van een oorzaak-gevolgrelatie. ‘..the correspondence of the involvement rate curve and the overtaking rate curve should not be viewed as accidental. The U-shape of the involvement rate curve is at least partially explained by the rate at which overtakings take place’ (Hauer, 1971; p. 6).

Volgens de theoretisch afgeleide curve is het aantal (passieve en actieve) inhaalmanoeuvres minimaal voor een automobilist bij het rijden van een *mediaansnelheid* (‘the number of overtakings per unit length of travel is extremal only for the vehicle travelling at the median speed..’ (Hauer, 1971; p. 4). Bij een scheve verdeling van de rijsnelheden kan de mediaansnelheid enige kilometers boven de gemiddelde snelheid liggen. De bevin-

ding van een minimale ongevallenbetrokkenheid bij een hogere snelheid dan de gemiddelde snelheid, kan dus volgens de theorie van Hauer verklaard worden door een asymmetrische verdeling van de rijnsnelheden te veronderstellen.

De keuze voor een snelheid die duidelijk lager is dan de mediaansnelheid verhoogt de kans om betrokken te raken bij een ongeval. Waarom kiezen bestuurders voor een dergelijke snelheid? Hauer noemt twee redenen. Ten eerste faalt de intuïtie van de bestuurder hem te waarschuwen voor de grotere kans op ongevallen bij langzaam rijden. Ten tweede kunnen rijopleiding, een bovengrens voor de snelheidslimiet, publiciteit over snelheid en ongevallen ten onrechte de indruk hebben gewekt dat langzaam rijden veilig is.

Maar is langzaam rijden dan een rationele keuze beschouwd vanuit het perspectief van de letselongevallen? Met andere woorden: wordt de kans op letsel geminimaliseerd bij langzaam rijden? Hauer constateert dat er slechts een gering verschil is tussen de snelheid waarbij de ongevallenkans wordt geminimaliseerd en de snelheid waarbij de kans op letsel (gemeten door het aantal verwonde personen per ongeval) gegeven een ongeval is geminimaliseerd. ‘..the difference between the involvement probability and the injury likelihood minimizing speeds is only about 2 m.p.h’ (Hauer, 1971; p. 8).

Op grond van theoretische analyses komt Hauer tot de verrassende conclusie dat het instellen van een onderlimiet voor snelheid tweemaal zo effectief is als het instellen van een bovenlimiet wat betreft het reduceren van het aantal inhaalmanoeuvres per eenheid weg.

De onderzoeker plaatst zelf de nodige methodologische kanttekeningen bij zijn conclusies:

1. Een aantal ongevallen in het databestand waren kruisingsongevallen en die zouden eigenlijk buiten de analyse gelaten moeten worden.
2. De snelheidsverdeling en de verkeersstroom op de verschillende studiestructies waren niet gelijk, zodat het theoretische aantal inhaalmanoeuvres gebaseerd is op een gemiddelde van onzekere aard.
3. Het mathematische model via welk het aantal inhaalmanoeuvres is berekend is een simpel model; er wordt bijvoorbeeld uitgegaan van de veronderstelling dat elke bestuurder een bepaalde snelheid kiest die hij vervolgens voor de rest van de rit aanhoudt.
4. Verschillende factoren zoals kenmerken van bestuurders, en vertekende snelheidsrapporteringen zijn niet in de analyse betrokken.

1.5. Relaties tussen ongevallen en verkeersstroomkenmerken

Aan verkeersstromen kan men allerlei kenmerken onderscheiden, zoals bijvoorbeeld de intensiteit, de gemiddelde snelheid en de verdeling van de snelheden, volgtijden en reistijden. Een verkeersstroommodel vormt een poging om de relaties tussen deze kenmerken te beschrijven. Botma (1977a; 1977b; 1978a; 1978b) bespreekt o.a. de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en onveiligheid.

Macroscopische kenmerken zijn bijvoorbeeld intensiteit (het aantal voertuigen dat per tijdeenheid een wegdoorsnede passeert), dichtheid (het aantal voertuigen dat per eenheid van weglengte aanwezig is op een zeker tijdstip) en gemiddelde snelheid (lokaal: gemiddeld over alle voertuigen die in een vast tijdsinterval een wegdoorsnede passeren, of: momentaan: gemiddeld over alle voertuigen die in een wegvak op een tijdstip aanwezig zijn). Bij gebruik van één grootte is de dichtheid een betere karakteri-

sering van de verkeerstoestand dan de intensiteit. Dit komt omdat in veel gevallen uit de dichtheid wel de intensiteit volgt, maar het omgekeerde niet geldt.

Macroscopische verkeersstroomkenmerken en verkeersonveiligheid

Op grond van literatuuronderzoek komt Botma tot de volgende conclusies over de relaties tussen macroscopische verkeersstroomkenmerken en onveiligheid:

- Op autosnelwegen en aangrenzende categorieën zijn er sterke aanwijzingen voor een U-vormige relatie tussen het ongevallequotiënt en de uurintensiteit betrokken op de capaciteit.
- Op enkelbaanswegen is de relatie tussen onveiligheid en intensiteit nog vrijwel niet onderzocht.
- Het ongevallequotiënt is groter naarmate, bij een zelfde totale intensiteit, de fractie vrachtverkeer groter is.
- Onderzoek naar de relatie tussen dichtheid en onveiligheid is niet gevonden. 'Dichtheid' is moeilijk te observeren en wordt daarom niet veel in onderzoek gebruikt.
- De relatie tussen de gemiddelde snelheid en het ongevallequotiënt wordt niet in algemene zin bevestigd.

Botma maakt bij de onderzochte studies de volgende methodologische kanttekeningen:

1. De relatie tussen ongevallequotiënt en globale intensiteiten, zoals gemiddelde etmaalintensiteit e.d., is buiten beschouwing gebleven.
2. Er is twijfel mogelijk of de uurintensiteit, meestal waargenomen op één doorsnede van het beschouwde wegvak, wel voldoende representatief is voor de toestand van de verkeersstroom.
3. In elk geval is de intensiteit geen goede maatstaf voor de toestand van de verkeersstroom als er stremmingen optreden. Bedenk bijvoorbeeld dat een kleine intensiteit zowel kan voorkomen bij een verkeersstroom met een geringe dichtheid en een hoge snelheid, als bij een verkeersstroom met een grote dichtheid en een lage snelheid.
4. In de onderzochte studies is er te weinig aandacht besteed aan de mogelijkheid betrouwbaarheidsintervallen op te stellen voor het aantal geregistreerde ongevallen.

Mesoscopische verkeersstroomkenmerken en verkeersonveiligheid

Mesoscopische kenmerken van verkeersstromen hebben betrekking op kenmerken die gedefinieerd worden met behulp verzamelingen individuele voertuigkenmerken. Het gaat hierbij voornamelijk om verdelingen, bijvoorbeeld van snelheden en volgtijden. De mesoscopische kenmerken kunnen in feite beschouwd worden als de 'onderdelen' waaruit de macroscopische kenmerken, zoals dichtheid, intensiteit en gemiddelde snelheid zijn opgebouwd. De gemiddelde snelheid is opgebouwd uit de verzameling snelheden waarover gemiddeld wordt; de intensiteit omvat de verzameling van volgtijden en de dichtheid de verzameling van volgafstanden. Bij de bespreking van de relatie tussen mesoscopische kenmerken en ongevallen besteedt Botma vooral aandacht aan het onderzoek van Solomon. Volgens Botma zijn er slechts twee onderzoeken verricht naar de relaties tussen combinaties van mesoscopische kenmerken en onveiligheid. In één onderzoek werden uit de snelheden, voertuiglengten en de volgtijd van twee opeenvolgende voertuigen de maximaal toelaatbare responsietijd afgeleid. Dit is de responsietijd waarbij nog geen botsing

optreedt als de voorligger plotseling maximaal vertraagt. In een ander onderzoek werd de relatie onderzocht tussen ongevalenquotiënt en een combinatie van snelheden en laterale posities van voertuigen.

2. Onderzoek in Nederland

In dit hoofdstuk bespreken we Nederlands onderzoek naar de effecten van de limietwijziging van 1 mei 1988, en onderzoek waarbij metingen van rijsnelheden en ongevallen zijn verricht. Het eerste onderzoek komt aan bod in par. 2.1, het tweede in par 2.2.

2.1. Onderzoek naar de effecten van de limietwijziging

Per 1 mei 1988 is de wettelijke maximum snelheid op het merendeel van het Nederlandse autosnelwegennet voor personenauto's en motoren opgetrokken van 100 naar 120 km/uur. Deze limietwijziging werd ingegeven door de buitengewoon geringe acceptatie onder automobilisten van de 100 km/uur-limiet. Gemeend werd dat een limiet van 120 km/uur door het merendeel van de automobilisten wel geaccepteerd zou worden. Tegelijkertijd met de limietwijziging werd de mate van politietoezicht sterk verhoogd om de naleving van de maximum snelheid zo hoog mogelijk te doen laten zijn. Hiernavolgend wordt eerst ingegaan op onderzoek van Rooijers (1989), vervolgens op onderzoek van Roszbach en Blokpoel (1989 en 1991).

Onderzoek van Rooijers

Rooijers (1989) onderzocht de samenhang tussen politietoezicht en voorlichting enerzijds en de rijsnelheid op autosnelwegen anderzijds na de invoering van de limietwijziging. Het onderzoek was van exploratieve aard waarbij gebruik werd gemaakt van drie soorten gegevens:

1. Snelheidsgegevens van personenauto's en vrachtwagens op 100 km/uur en 120 km/uur-wegen.
2. De aantallen processen-verbaal die door de Rijkspolitie zijn opgemaakt voor snelheidsovertredingen op autosnelwegen. Deze geven een indicatie van de handhavingsinspanningen.
3. Een subjectieve inschatting van de voorlichtingsactiviteiten gebaseerd op de aantallen gebruikte media, soorten media, frequentie van campagnes.

Rooijers constateert een snelheidsreductie onmiddellijk na de limietwijziging per 1 mei 1988. In Afbeelding 6 zijn de voornaamste resultaten inzake de rijsnelheden weergegeven. Uit deze afbeelding komt naar voren dat de gemiddelde rijsnelheid in mei 1988 aanzienlijk lager is dan in april; waar na 1 mei 120 km/uur gereden mag worden is de reductie 4,5 km/uur en waar de limiet 100 km/uur is gebleven is de reductie ongeveer 10 km/uur. Ook bij het vrachtverkeer wordt in mei een snelheidsreductie waargenomen. De daaropvolgende maand laat evenwel gelijk al weer een lichte snelheidstoename zien en deze is het grootst bij personenauto's op 100 km/uur-vakken.

Meningen van automobilisten

Naar aanleiding van de limietwijziging van 1 mei 1988 is ook meermalen een schriftelijke enquête afgenomen onder meer dan 1100 automobilisten, éénmaal in april 1988 (voormeting), in september 1988 (tussenmeting), en éénmaal in april/mei 1989 (nameting) (Rooijers, 1989a, 1989b, 1989c). De werving van de respondenten geschiedde beide keren als volgt. De Dienst

Verkeerskunde van Rijkswaterstaat registreerde op zes verschillende locaties op autosnelwegen (A1, A12, A13, A20, A27 en A28) ongeveer 2000 kentekens van personenauto's. Op alle zes locaties gold per 1 mei 1988 een wettelijke maximum snelheid van 120 km/uur. Bij de kentekenregistratie is tegelijkertijd de rijnsnelheid van de betreffende motorvoertuigen gemeten. Uit het totale bestand van geregistreerde kentekens werd vervolgens een naar snelheid gestratificeerde steekproef van kentekens getrokken (1200 in september 1988; 1120 in april 1989). Voor het onderzoek in april 1989 werd behalve de gestratificeerde steekproef van 1120 personen, ook nog een steekproef van 280 personen getrokken uit het aantal respondenten die hadden deelgenomen aan de voormeting in april 1988. Deze personen kregen voor de tweede keer een grotendeels zelfde vragenlijst voorgelegd waardoor eventuele verschuivingen van meningen en opvattingen over rijnsnelheid op autosnelwegen vastgesteld kunnen worden.

Uit het onderzoek van Rooijers komen vier categorieën automobilisten naar voren die onderling systematisch verschillen in termen van voorkeurssnelheid, meningen over snelheidslimieten, meningen over gevolgen van te hard rijden, motieven voor snelheidsgedrag en meningen over toezicht. De onderzoeker verwoordt de verschillen als volgt. 'Mensen die de auto in hoofdzaak alleen voor privé-doeleinden gebruiken hebben gemiddeld de laagste rijnsnelheid, hebben de laagste voorkeurssnelheid, staan het meest positief tegenover de gedifferentieerde snelheidslimieten en scherpe politiecontroles, tillen het zwaarst aan mogelijke negatieve consequenties van te hard rijden en hechten het minst belang aan mogelijke positieve gevolgen en schatten de sociale norm ten aanzien van te hard rijden het meest negatief in. Automobilisten die de auto vooral voor zakelijke doeleinden gebruiken en die zelf geen eigenaar van de auto zijn, rijden daarentegen het hardst, hebben de hoogste voorkeurssnelheid, staan het minst positief tegenover de huidige snelheidslimieten, hechten het meest belang aan mogelijke positieve consequenties van te hard rijden en tillen het minst zwaar aan mogelijke negatieve gevolgen en schatten de sociale norm het minst negatief in. De twee andere groepen, automobilisten die de auto voornamelijk voor woon/werkverkeer gebruiken en automobilisten die de auto ook voor zakelijke doeleinden gebruiken, maar zelf eigenaar zijn, nemen op vrijwel alle aspecten een tussenpositie in' (Rooijers, 1989b, p. 25).

Onderzoek van de SWOV

Roszbach en Blokpoel (1989, 1991) evalueerden de effecten van de limietwijziging in termen van snelheidsverandering en verandering in het aantal verkeersongevallen.

Het effect op rijnsnelheden

Het effect op de snelheid was van tijdelijke aard. Na 1 mei 1989, een jaar na de invoering, zijn er nog slechts marginale snelheidseffecten te constateren die niet meer aanwijsbaar in de ongevallencijfers tot uitdrukking komen (zie Tabel 2).

Het geschatte effect op ongevallen

Op grond van trendberekeningen over de periode 1985 t/m 1989, met weglating van het jaar 1988, werden lineaire schattingen verricht van de aantallen dodelijk-gewonde slachtoffers, in ziekenhuizen opgenomen slachtoffers en overige slachtoffers in de 8 maanden-periode mei-december

	Limiet 100 km/uur				Limiet 120 km/uur			
	Personenauto's		Zwaar verkeer		Personenauto's		Zwaar verkeer	
V(85)	V(gem)	V(85)	V(gem)	V(85)	V(gem)	V(85)	V(gem)	V(85)
april '88	109	125	90	100	113	128	91	99
mei '88	99	112	85	94	108	122	87	96
mei '89	103	117	87	96	112	126	89	98

Tabel 2. *Gemiddelde en 85ste percentielsnelheden op 100 km/uur-auto-snelwegen naar maand en voertuigcategorie (Bron: Roszbach & Blokpoel, 1991).*

	1988		1990	
	verwacht	werkelijk	verwacht	werkelijk
doden	122	81*	136	117(n.s.)
ziekenhuisgewonden	558	486*	589	580 (n.s.)
overige gewonden	1229	1037*	1336	1408 (n.s.)

* afwijking van trend significant op $p < .05$

Tabel 3. *Aantallen verwachte en werkelijke slachtoffers in mei-december 1988 en 1990 (Bron: Roszbach & Blokpoel, 1991).*

in het jaar 1988 en het jaar 1990. Het jaar 1988 wordt in de trendberekeningen buiten beschouwing gelaten omdat wordt aangenomen dat er in dit jaar sprake is van een incidentele invloed van rijsnelheden. De lineaire trendberekeningen werden afgezet tegen de werkelijke aantallen slachtoffers in de jaren 1988 en 1990 in de periode mei-december (zie Tabel 3).

De resultaten in Tabel 3 bevestigen de verwachting van de onderzoekers dat in termen van onveiligheid, het jaar 1990 niet en het jaar 1988 wel zou afwijken van de middellange trend. Als we de gegevens in Tabel 3 opvatten als een schatting van het effect van snelheidsreductie op de aantallen slachtoffers, kan dit effect geraamd worden op ongeveer 40 doden, 70 ziekenhuisgewonden en een kleine 200 licht gewonden, zijnde respectievelijk 30%, 15% en 15% voor de periode. De onderzoekers merken op dat deze percentages niet veel afwijken van wat op grond van de bekende Nilsson-formules (zie par. 3.4) voorspeld zou worden.

Overige resultaten

Interessant zijn ook de verschillende interactie-effecten die deze onderzoekers constateren. Na een aanvankelijke snelheidsreductie keren de rijsnelheden in het jaar 1989 weer terug op het oude niveau, zodat een toename van ongevallen verwacht mag worden. Het aantal ongevallen in de mei-december 1989 vergeleken met dat in mei-december 1988 laat de volgende interactie zien tussen wegtype en ernst van het ongeval zien:

1. De toename van het aantal ongevallen met dodelijke afloop concentreert zich op de 120 km/uur-wegen.
2. De stijging van het aantal uitsluitend materiële-schade-ongevallen concentreert zich op de 100 km/uur-wegen

3. Voor de letselongevallen zijn de stijgingen op beide typen wegen van vergelijkbare omvang.

Het feit dat een geringere daling van de gemiddelde en de 85ste percentielsnelheid op 120 km/uur-wegen tot zoveel grotere effecten op de ernstige (dodelijke) ongevallen heeft geleid, roept nieuwe vragen op. 'Dit zou kunnen betekenen dat het effect samenhangt met veranderingen van meer specifieke kenmerken van de snelheidsverdeling, zoals scheefheid, waarover echter minder bekend is. Het zou ook kunnen betekenen dat de omvang van met name het effect op de zeer ernstige ongevallen progressief samenhangt met absolute waarden van de snelheid' (Roszbach & Blokpoel, 1991; p. 13).

Methodologische en overige kanttekeningen

De onderzoekers plaatsen een aantal kanttekeningen bij de gehanteerde analyse van de effecten van snelheid op aantallen slachtoffers:

1. De schatting van reductie van aantallen slachtoffers is een *onderschatting* in de zin dat geen rekening is gehouden met mogelijke effecten na 1 januari 1989. Deze schatting is een *overschatting* in de zin dat de verschillen volledig aan de snelheidsfactor zijn toegeschreven zonder rekening te houden met mogelijke andere invloedsfactoren.
2. Geschat is het specifieke effect op 100- en 120 km/uur-wegen zonder rekening te houden met een mogelijke *uitstraling* naar 80 km/uur-wegen.
3. Het effect op aantallen slachtoffers zou met een factor 2 à 3 opgehoogd moeten worden indien dit effect wordt herberekend naar jaarbasis en indien gecorrigeerd wordt voor de afname van het effect in de loop van het jaar.

Conclusies

Op grond van een consistent geheel van aanwijzingen trekken de onderzoekers een aantal conclusies die zij zelf omschrijven als de meest plausibele interpretaties. Zij concluderen dat het complex van voorlichting, publiciteit en toezicht dat de invoering van het nieuwe limietenstelsel heeft begeleid, tot een vermindering van de feitelijke rijnsnelheden heeft geleid. Vervolgens zou deze daling van rijnsnelheden weer geleid hebben tot minder ongevallen. Het effect op de onveiligheid heeft zich in alle waarschijnlijkheid niet beperkt tot autosnelwegen, maar is ook uitgestraald naar andere wegen.

De onderzoekers spreken van een zogenaamd 'inschakeleffect'. 'Het inschakeleffect wordt in alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door de *dreiging* met verhoogd politietoezicht. Dit is dus in essentie geen effect van toezicht, maar van publiciteit.' (Roszbach en Blokpoel, 1991, p. 23).

De onderzoekers trekken uiteindelijk de volgende conclusie over het potentiële veiligheidseffect: 'Ondanks alle onzekerheden moet voor wat betreft orde van grootte van het *potentiële effect* dus gedacht worden aan waarden in de nabijheid van 100 doden en 1000 geregistreerde gewonden per jaar. Dit plaatst *effectieve handhaving* van de 100- en 120 km/uur-limiet in principe in de top van de lijst van meest effectieve afzonderlijke verkeersveiligheidsmaatregelen' (Roszbach en Blokpoel, 1991; p. 21).

2.2. De effecten van geautomatiseerd toezicht op snelheid en ongevallen

Oei & Polak (1992) rapporteren over de effecten van geautomatiseerd politietoezicht op rijnsnelheden en ongevallen. Voor het onderzoek werden

in vier provincies, Gelderland, Utrecht, Noord-Brabant, en Overijssel, een experimentele en een controle weg onderscheiden.

Twee soorten experimentwegen zijn geselecteerd: nl. wegen met gesloten verklaring voor het (brom)fietsverkeer en wegen met gesloten verklaring voor het langzame verkeer. De wegen dienden voor wat betreft snelheid en onveiligheid een probleem te zijn. De controlewegen zijn geselecteerd op vergelijkbaarheid met de experimentwegen ten aanzien van weg- en verkeerskenmerken. Deze wegen mochten niet te ver verwijderd zijn van de experimentwegen en niet in het directe verlengde ervan liggen.

Begonnen is met het verzamelen van de gegevens over ongevallen en rijnsnelheden en met voorlichting aan weggebruikers over nieuwe toezicht-systeem. In Fase 1 werden borden met snelheidsaanduidingen en matrix-borden met oplichtende waarschuwingsteksten 'U rijdt te snel' of '60-80' geïnstalleerd. In Fase 2 is automatisch toezicht uitgeoefend met radar en camera.

Effecten op rijnsnelheden

Tabel 4 laat de snelheidsgegevens over de vier provincies te zamen genomen zien. We zien op de experimentwegen afnemende snelheden en percentages overtreders en op de controlewegen schommelende waarden.

Experimentwegen	Fase		
	0	1	2
N	19478	11872	13417
gem. snelheden	78,2	75,2	72,9
15%	70,2	68,7	66,4
85%	86,7	83,8	78,9
st.dev.	10,0	9,2	8,0
% < 60 km/uur	2,8	3,0	4,4
% > 80 km/uur	38,2	28,0	11,4

Controlewegen	Fase		
	0	1	2
N	5580	5172	5378
gem. snelheden	78,7	80,2	78,9
15%	68,8	71,4	71,9
85%	88,3	90,4	88,6
st.dev.	11,7	10,9	11,7
% < 60 km/uur	3,9	2,3	3,6
% > 80 km/uur	40,9	50,2	44,4

Tabel 4. *Snelheden en kenmerken snelheidsverdeling op experimentele wegen en controlewegen (Bron: Oei & Polak, 1992).*

Effecten op ongevallen

Er is gebruik gemaakt van ongevallengegevens in de periode vanaf de start van het experiment tot en met zeven maanden erna (30 november 1990-30 juni 1991). Vanwege deze relatief korte periode zijn de ongevallen in Fase 1 en 2 bij elkaar genomen. Als voorperiode is de corresponderende periode genomen uit de drie voorafgaande jaren.

De reductie van ongevallen in procenten is verkregen door 1 minus de verhouding van de aantallen ongevallen in de naperiode ten opzichte van de voorperiode op de experimentweg ten opzichte van de controleweg. In formule uitgedrukt: $1 - (N.exp_{na} \times N.cont_{voor}) / (N.exp_{voor} \times N.cont_{na})$, waarbij $N.exp_{na}$ staat voor het aantal ongevallen op experimentele weg bij nameting en $N.cont_{voor}$ verwijst naar het aantal ongevallen op de controle weg bij de voormeting.

	Aantal ongevallen op				Reductie ongevallen in procenten
	Experimentele wegen		Controle- wegen		
	Voor	Na	Voor	Na	
Overijssel	32	13	82	53	5%
Noord-Brabant	53	31	44	27	37%
Gelderland	42	22	24	30	58%
Utrecht	24	15	134	127	34%
Totaal	150	81	284	237	35%

Tabel 5. Aantallen ongevallen en reductie in ongevallen (Bron: Oei & Polak, 1992).

Kortom, op de onderzochte 80 km/uur-wegen zijn de reducties in gemiddelde snelheid (van 78 naar 72 km/uur), in de standaardafwijking van de rijsnelheden van (10 km/uur naar 8 km/uur) en in het percentage limiet-overtreders (van 38% naar 11%) gepaard gegaan met een totale ongeval-lenreductie van circa 35%.

Het totale aantal ongevallen op de controlewegen is ook gereduceerd, terwijl de snelheid erop ongeveer gelijk is gebleven. Kennelijk zijn er nog andere factoren behalve de snelheidsreductie die van invloed zijn geweest op de vermindering in het aantal ongevallen. Dit doet echter niets af aan de conclusie het effect van de snelheidsreductie een vermindering van het aantal ongevallen van circa 35% is geweest. Er kan immers worden aan- genomen dat de andere factoren zowel een rol hebben gespeeld bij de experimentwegen als bij de controlewegen en dus in de uiteindelijke ver- gelijkning al zijn verdisconteerd.

3. Onderzoek in de Scandinavische landen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op onderzoek naar snelheden en ongevallen in de Scandinavische landen. Over dit onderzoek is samenvattend gerapporteerd door Larsen, Salusjärvi, Sakshaug en Nilsson (1990). Achtereenvolgens behandelen we de opgedane kennis in Denemarken (par. 3.1), Noorwegen (par. 3.2), Finland (par. 3.3), en Zweden (par. 3.4).

3.1. Onderzoek in Denemarken

Gedurende de oliecrisis in 1973 werden in Denemarken tijdelijke snelheidslimieten van 60 km/uur voor binnen de bebouwde kom en van 80 km/uur voor buiten de bebouwde kom ingevoerd. De Deense automobilisten waren positief gestemd omtrent deze limieten, omdat ze de noodzaak ervan inzagen; de naleving van deze limieten was daarom groot. In maart 1974 werden permanente snelheidslimieten ingevoerd: 60 km/uur binnen de bebouwde kom, 90 km/uur buiten de bebouwde kom behalve op autosnelwegen waar een limiet werd ingesteld van 110 km/uur. De effecten van dit limietenstelsel op snelheden en ongevallen zijn onderzocht. Christensen (1981) vermeldt dat in Denemarken de invoering van snelheidslimieten op wegen binnen (60 km/uur) en buiten de bebouwde kom (niet-snelweg 90 en snelweg 110 km/uur) voor wegen buiten de bebouwde kom geresulteerd heeft in slechts een matige daling van de gemiddelde snelheid, maar wel in een aanmerkelijke verkleining van de standaardafwijking.

Effecten op rijnsnelheden en spreiding in rijnsnelheden

De gemiddelde snelheid op snelwegen daalde van 98 naar 89 km/uur, de standaardafwijking van 18 naar 14 km/uur. Op niet-autosnelwegen was de daling resp. 83 naar 79 km/uur en 16 naar 11 km/uur. Op beide typen wegen was er dus een aanzienlijke verkleining van de standaardafwijking.

Effecten op ongevallen

Het aantal letselongevallen op wegen buiten de bebouwde kom daalde met 30% voor niet-autosnelwegen en met 40% voor snelwegen. Voor alle wegen (zowel binnen als buiten de bebouwde kom) daalde het aantal ongevallen met 22% en het aantal doden met 34%. De verminderde mobiliteit van het snelverkeer en het langzame verkeer en trendontwikkelingen spelen echter ook een rol bij deze reducties. Geschat wordt dat het effect van een verlaging van de rijnsnelheid op het totale aantal ongevallen ongeveer 11% is en op het aantal doden ongeveer 20%. Voor wegen buiten de bebouwde kom kan 20% van de daling in het aantal ongevallen worden toegeschreven aan lagere rijnsnelheden. Voor binnen de bebouwde kom wordt geschat dat van de 18% daling in het aantal letselongevallen 5% kan worden toegeschreven aan een reductie van de rijnsnelheid.

Later concludeert Larsen (1990) over de effecten van de in 1974 ingevoerde snelheidslimieten op ongevallen en snelheden nog het volgende:

Effecten op rijnsnelheden

In het experimentele jaar (1 april 1974 - 31 maart 1975) en het controlejaar (1 april 1972- 31 maart 1973) werden op 24 plaatsen snelheidsmetin-

gen verricht. De belangrijkste conclusie was dat de gemiddelde snelheid met ongeveer 6 km/uur was gedaald, terwijl de standaardafwijking van de rijsnelheden met ongeveer 3 km/uur was afgenomen.

Effecten op ongevallen

Het aantal ongevallen in het experimentele jaar werd vergeleken met dat in het controlejaar. De resultaten in het experimentele jaar wezen op een vermindering van het aantal ongevallen van ongeveer 22%, een vermindering in het aantal overleden slachtoffers van ongeveer 34% en een vermindering van het aantal verwonde personen van ongeveer 24%. De ernst van de ongevallen gemeten als het aantal overleden slachtoffers per ongeval was ook minder dan in het controlejaar. Deze vermindering in ongevallen werd zowel binnen als buiten de bebouwde kom gevonden.

Een evaluatie van de verkeersintensiteiten in het experimentele jaar en het controlejaar wees uit dat de verminderingen niet alleen toegeschreven konden worden aan veranderingen in verkeersintensiteit. Ook bleek dat de vermindering niet kon worden afgedaan als onderdeel van een meer algemene trend in de ontwikkeling van ongevallen.

Limietverandering binnen de bebouwde kom

In oktober 1985 werd in Denemarken de snelheidslimiet binnen de bebouwde kom gewijzigd van 60 naar 50 km/uur. Voor- en nametingen in 19 Deense steden wezen uit dat de gemiddelde snelheid van personenauto's met een gemiddelde van 3,5 km/uur was gedaald - variërend van dalingen van 0,1 km/uur tot 7,6 km/uur. Er is geschat dat in de periode na de invoering van de 50 km/uur-limiet een vermindering van 24% in het aantal ongevallen met dodelijke afloop is opgetreden, een vermindering van 7% in het aantal slachtoffers met zwaar letsel en een vermindering van 9% in het aantal ongevallen.

3.2. Onderzoek in Noorwegen

In 1980 werden in Noorwegen op een aantal autowegen en autosnelwegen limietveranderingen doorgevoerd. De limietveranderingen betroffen enerzijds verlagingen van limieten van 80 km/uur naar 60 km/uur, 60 km/uur naar 50 km/uur en 70 km/uur naar 60 km/uur, en anderzijds verhogingen van 80 km/uur naar 90 km/uur. De meest frequente verandering was van 80 km/uur naar 60 km/uur. Voor de invoering van deze limietveranderingen had 14% van de Noorse wegen snelheidslimieten die afweken van de algemene limieten (50 km/uur binnen, 80 km/uur buiten de bebouwde kom). Na de limietverandering was dit percentage 24%.

Effecten op rijsnelheden en naleving

Veranderingen in de hoogte van de limiet had als resultaat een verandering in de gemiddelde snelheid. Iedere verhoging, resp. verlaging van de limiet met 10 km/uur gaf een verhoging resp. verlaging van de gemiddelde snelheid met 3-4 km/uur.

Het percentage overtreders van de limiet nam met 20-30% toe bij iedere 10 km/uur verlaging van de limiet. Verhoging van de limiet met iedere 10 km/uur leverde een reductie van het percentage overtreders op van 25%.

Effecten op ongevallen

Het effect van de limietverlaging op de verkeersveiligheid (van 60 naar 50, van 70 naar 60 en van 80 naar 60 km/uur) was een daling van het

aantal ernstige ongevallen (ongevallen met overleden of zwaargewonde slachtoffers) met 40-50%.

Bij een verhoging van de limiet van 80 naar 90 km/uur nam het aantal ernstige ongevallen toe met 50%. De limietveranderingen hadden een gering effect op het totale aantal letselongevallen (bij limietverlaging < 10%).

3.3. Onderzoek in Finland

In Finland is in de jaren zestig en zeventig onderzoek verricht naar de effecten van nieuw ingevoerde snelheidslimieten. Wij beperken ons hier tot het uitgebreide snelheids- en ongevallenonderzoek over de periode 1973-1976.

In Finland werd in 1973 een gedifferentieerd limietenstelsel ingevoerd met de snelheidslimieten van 60, 80, 100 en 120 km/uur. De keuze voor de 60 of 80 km/uur-limiet werd deels bepaald door statistisch experiment dat bedoeld was de effecten van de limieten te evalueren. De fasering van het experiment was als volgt:

- Fase 1: 5000 km weg (75) in Zuid-Finland kregen gedifferentieerde limieten van 60, 80, 100 en 120 km/uur. De rest van de wegen had vrije snelheid.
- Ongeplande fase: In de periode hieropvolgend werd een algemene limiet van 80 km/uur ingesteld in verband met de energiecrisis.
- Fase 2: Daarna zijn weer gedifferentieerde limieten ingesteld op 15.000 km weg (20%). De rest bleef een limiet van 80 km/uur houden.
- Fase 3: Deze betrof kleine veranderingen ten opzichte van Fase 2 ten behoeve van het onderzoek.

In Tabel 6 wordt een totaaloverzicht gegeven van de verzamelde gegevens tijdens deze fasen. Op grond van deze gegevens is een aantal relaties berekend tussen enerzijds het 'relatieve niveau van een limiet' en anderzijds rijnsnelheden, aantallen ongevallen. Onder 'relatief niveau van de limiet' wordt het aandeel bestuurders verstaan dat onder condities van vrije snelheidskeuze een hogere snelheid zou kiezen dan de limiet. Bij de verschillende berekeningen wordt verondersteld dat deze bestuurders onder de nieuwe limiet hun snelheidsgedrag aanpassen. Tevens zijn de verbanden tussen snelheidsverandering en verandering in het aantal ongevallen gekwantificeerd.

Samenhangen tussen snelheid en relatief niveau van de limiet

Afbeelding 7 laat de verandering in gemiddelde snelheid zien als een functie van het relatieve niveau van de limiet. Volgens de fit in deze afbeelding begint de snelheidslimiet pas effect te hebben op de gemiddelde rijnsnelheid op het moment dat tenminste 13,5% van de bestuurders de limiet zouden overtreden onder condities van vrije snelheidskeuze.

Afbeelding 8 toont de verandering in de hoogste rijnsnelheden (85ste percentielsnelheden) als een functie van het relatieve niveau van snelheid. De lineaire fit loopt bijna door de oorsprong. Dit betekent dat zelfs relatief 'hoge' snelheidslimieten een reducerend effect kunnen hebben op de hogere rijnsnelheden. Wanneer het relatieve niveau van de limiet lager dan 5% is, wordt er geen vermindering in de hogere rijnsnelheden meer gevonden.

Afbeelding 9 toont de geschatte samenhang tussen het relatieve niveau van de limiet en de standaardafwijking in de rijnsnelheden. Volgens de lineaire

Phase	Road group 2)	Relative level of limits	Change in speed			Change in accidents			
			\bar{v}	v_{85}	s	Fatal	Injuries	Injuries/fatal	All accidents
			km/h	km/h	km/h	%	%	%	%
Phase I of road sectional limits 1973	60	36	-2	-6	-1,8	(+12) ¹⁾	-5	-3	-15
	80	43	-6	-13	-5,5	-40	-34	-35	-48
	100	19	-2	-9	-4,5	-17	-11	-12	-7
	120	5	-1	-1	-1,4	(-44)	-26	-30	-20
General speed limit 1974	60	36	-2	-5	-1,7	(+33)	-35	-30	-10
	80	43	-6	-17	-6,1	-13	-39	-35	-39
	100	67	-7	-19	-7,6	-47	-45	-45	-42
	120	69	-9	-20	-7,4	(-20)	-42	-39	-33
Phase II of road sectional limits 1974-1975	60	36	± 0	-4	-0,9	(+64)	-8	-2	+1
	80	46	-3,5	-11	-5,4	-37	-33	-34	-28
	100	21	-2	-7	-4,5	-48	-9	-17	+2
	120	5	+2	-0	-1,7	(+5)	+31	+26	+17
Phase III of road sectional limits 1975-1976 ³⁾	60	36	-4	-6	+0	(-45)	-23	-25	-23
	80	46	-3	-10	-5	-48	-40	-41	-32
	100	21	± 0	-6	-5	-46	-20	-25	-10
	120	5	+2	+0	-3	(-51)	-6	-15	-0

- 1) The changes in parentheses are based on a small sample and are thus statistically questionable.
- 2) The road groups have been formed from the road sectional limits valid during Phases I & II. The road group division of Phase I has also been used during the general speed limit, and during Phases II & III the roads in question had the same limit.
- 3) The data from Phase III of road sectional limits are based on »before-after» comparison.

Tabel 6. De relatieve niveaus van de verschillende limieten, en het effect daarvan op gemiddelde snelheid, 85ste percentielsnelheid, en standaardafwijking en de verandering in ongevallen van verschillende ernst gedurende de vier fasen van de Finse limietexperimenten 1973-1976 (Bron: Salusjärvi, 1990).

fit reduceren de snelheidslimieten altijd de standaardafwijking van de rijksnelheden, zelfs wanneer de limiet erg hoog is. Maar de afwijking neemt sterker af, naarmate de limiet lager is.

De invloed van het relatieve niveau van de snelheidslimiet op de eigenschappen van de verkeersstroom kan in de volgende punten samengevat worden:

1. Een reductie van de gemiddelde rijksnelheid wordt bewerkstelligd door een limiet die is ingesteld op ongeveer het 85ste-percentielsnelheidsniveau of lager. Een hogere limiet zal de gemiddelde snelheid omhoogtrekken.
2. Ook de hoogste rijksnelheden verminderen wat onder invloed van 'hogere' limieten. Als de limiet uitstijgt boven de 95%-punt snelheid onder condities van vrije snelheidskeuze, dan verminderen de 85%-puntsnelheden niet meer.
3. Snelheidslimieten reduceren altijd de standaardafwijking van de rijksnelheden.
4. De naleving van de snelheidslimieten is voor een groot deel afhankelijk van hun relatief niveau. Ongeveer 60% van degenen die onder condities van vrije snelheidskeuze de limiet zouden overschrijden, doen dit ook wanneer de limiet van kracht is. Slechts 17% van deze groep bestuurders zou de limiet met meer dan 10 km/uur overschrijden.

De samenhang tussen aantal ongevallen en relatief niveau van de snelheidslimiet

Afbeelding 10 toont de relatieve verandering in het totale aantal ongevallen als een functie van het relatieve niveau van de limiet. Afbeelding 10 toont dezelfde samenhang voor ongevallen met overleden of gewonde slachtoffers.

Samenvatting van de invloed van het relatieve niveau van de limiet

De veranderingen in zowel rijksnelheden als ongevallen zijn groter naarmate het relatieve niveau van de snelheidslimieten lager is vergeleken met de vrije snelheid. Als het de bedoeling is dat snelheidslimieten ongevallen of gemiddelde rijksnelheden niet doen toenemen, dan moeten de limieten worden ingesteld op een lager niveau dan de 85ste-percentielsnelheid onder vrije snelheidskeuze. De hoogste snelheden, de snelheidsverspreiding en de ongevallen met overleden of gewonde slachtoffers nemen echter ook af bij snelheidslimieten die worden ingesteld boven dit niveau.

Samenhangen tussen verandering in ongevallen en verandering in snelheid

Afbeelding 11 toont de beste fit voor de relatie tussen verandering in ongevallen en verandering in gemiddelde snelheid. De lineaire fit in deze afbeelding geeft de relatie weer tussen verandering in alle ongevallen en verandering in de gemiddelde rijksnelheid. Deze fit verklaarde 76% van de variantie in de verandering in het aantal ongevallen.

De niet-lineaire fit beschrijft de relatie tussen veranderingen in dodelijke en letselongevallen en verandering in de gemiddelde rijksnelheid. Deze fit verklaart meer dan 80% van de variantie in ongevallen met overleden of gewonde slachtoffers.

De in Afbeelding 11 getoonde samenhang tussen de verandering in het aantal dodelijke en letselongevallen en de verandering in de gemiddelde snelheid, wordt vaak aangehaald, te zamen met de Nilsson-formules (zie

par. 3.4), om de stelling te ondersteunen dat kleine snelheidsveranderingen grote veiligheidseffecten kunnen hebben.

3.4. Onderzoek in Zweden

Nilsson (1981) heeft onderzoek verricht naar het effect van snelheidslimieten op verkeersongevallen in Zweden. Sinds 1968 zijn daar snelheidslimieten van toepassing, gedifferentieerd naar wegtype. Sindsdien zijn wijzigingen hierin aangebracht en zijn deze geëvalueerd.

Effecten op rijnsnelheden en ongevallen

Reductie van de limiet met 20 km/uur leidde tot een daling van de gemiddelde snelheid met 6-8 km/uur. Een verhoging van de limiet van 90 naar 110 km/uur op enkelbaans tweestrookswegen van zeer goede kwaliteit bracht een verhoging met zich mee van het ongevallenquotiënt met 40%. Het terugbrengen van de limiet van 90 naar 70 km/uur resulteerde in een daling in het ongevallenquotiënt van 22%, en een reductie van de limiet op autosnelwegen van 130 naar 110 km/uur had tot gevolg een daling in het ongevallenquotiënt met 30%.

Kwantificering van effecten

Nilsson stelt op basis van het uitgevoerde onderzoek de volgende kwantitatieve relaties vast tussen veranderingen in ongevallenquotiënten (aantal door politie gerapporteerde ongevallen per miljoen voertuigkilometers) en veranderingen in rijnsnelheden:

$$\left(\frac{\text{Dodelijke ongevallenquotiënt na}}{\text{Dodelijke ongevallenquotiënt voor}} \right) = \left(\frac{\text{Gemiddelde snelheid na}}{\text{Gemiddelde snelheid voor}} \right)^4$$

$$\left(\frac{\text{Ernstig letselongevallenquotiënt na}}{\text{Ernstig letselongevallenquotiënt voor}} \right) = \left(\frac{\text{Gemiddelde snelheid na}}{\text{Gemiddelde snelheid voor}} \right)^3$$

$$\left(\frac{\text{Geregistreerd ongevallenquotiënt na}}{\text{Geregistreerd ongevallenquotiënt voor}} \right) = \left(\frac{\text{Gemiddelde snelheid na}}{\text{Gemiddelde snelheid voor}} \right)^2$$

4. Onderzoek in de Verenigde Staten

In de Verenigde Staten werden voor 1974 de snelheidslimieten voor de 'highways' vastgesteld door staatsoverheid of lokale overheden. De limiet voor de hoofdwegen op het platteland werd gewoonlijk op 96 km/uur gesteld en op 112 km/uur voor de meeste 'interstate freeways' en op sommige andere 'divided highways'. De energiecrisis in 1973 leidde ertoe dat het Amerikaanse Congres vroeg in 1974 een 88 km/uur-limiet verplicht stelde.

Gedurende de jaren tachtig werd de publieke steun voor de 88 km/uur limiet op de 'rural interstate highways' steeds zwakker. Publieke opiniepeilingen vonden nog wel een meerderheidssteun voor de limiet, maar het niveau van ondersteuning en van naleving nam elk jaar af. De Amerikaanse federale overheid bepaalde dat vanaf april 1987 de snelheidslimieten op 'interstate highways' buiten stedelijke gebieden met meer dan 50.000 inwoners verhoogd mogen worden van 88 km/uur tot 104 km/uur. Tegen het einde van dat jaar hadden 38 staten de snelheidslimiet verhoogd op de meeste secties van de 'rural interstate highways'.

Zowel de effecten van limietverlaging in de jaren zeventig als die van de limietverhoging in de jaren tachtig zijn in diverse studies onderzocht. In dit hoofdstuk beperken wij ons tot de weergaven van het meer recente onderzoek naar de effecten van de limietverhoging. Een aantal algemene inleidende opmerkingen over het Amerikaanse onderzoek zijn wellicht op hun plaats.

De onderlinge discussie tussen Amerikaanse onderzoekers heeft tot een zekere consensus geleid dat de limietverhoging op de Amerikaanse 'rural interstates' inderdaad tot een verhoging van de onveiligheid op die wegen heeft geleid. Maar hiermee is de empirische discussie niet afgedaan. Er zijn nog onderwerpen betreffende de limietverhoging waarover onderzoekers van mening verschillen, zoals de precieze grootte van de stijging in de onveiligheid, de bijdrage van de limietverhoging aan de geconstateerde stijging in onveiligheid, de relatie tussen veiligheid op de 'rural interstates' en andere wegen (vooral verplaatsingseffecten en zgn. 'spill-over' effecten), en de veiligheidseffecten van gedifferentieerde limietenstelsels versus uniforme limietenstelsels.

De meningsverschillen tussen Amerikaanse onderzoekers hangen ten dele samen met verschillen in methoden die worden gebruikt om de effecten van de limietverhoging op veiligheid vast te stellen. Daarom lijkt het nuttig voordat we ingaan op de resultaten van deze studies eerst nadere aandacht te besteden aan deze methoden. In par. 4.2 dan worden de opzet en de resultaten van enkele belangrijke recente studies behandeld. Tenslotte volgt in par. 4.3 een beschrijving van onderzoek van de effecten van uniforme versus gedifferentieerde limieten. Met dit hoofdstuk is echter zeker niet de volledige onderzoeksdiscussie over de limietverhoging in kaart gebracht. Dat zou de bestudering van tientallen artikelen hebben geveerd.

4.1. Het schatten van de effecten van limietverandering: methoden en technieken

Kamerud (1988) bespreekt de verschillende statistische methoden of schattingstechnieken die gebruikt kunnen worden om veiligheidseffecten van een limietverandering te evalueren.

Typen gegevens

De eerste stap is te beslissen of men gebruik wil maken van tellingen van ongevallen of van verhoudingsgetallen zoals bijvoorbeeld het aantal doden per afgelegde afstand. Een simpele vergelijking van tellingen of frequenties gaat voorbij aan de rol die verkeersmobiliteit speelt in het ongevallengerende proces. Desalniettemin kunnen voorspellingen gedaan worden door tellingen als afhankelijke variabelen in regressievergelijkingen te gebruiken (vooral als 'travel' onder de verklarende variabelen is) in autoregressieve trendmodellen.

Het gebruik van 'rates' per voertuigkilometer vormt een poging om blootstelling meteen vanaf de start in de analyse te verdisconteren. Het meten van veiligheid op deze manier gaat uit van de visie dat de zorg om de veiligheid van een interventie of technologie altijd niet moet gaan over 'hoe veilig?', maar over 'hoe veilig per eenheid output?'. Een probleem met 'rates' is dat ze afhankelijk kunnen zijn van schattingen van verkeersdichtheid die verkregen zijn via uiteenlopende methoden. Een andere kwestie die speelt is dat een vergelijking van 'rates' impliciet veronderstelt dat ongevallen in een vaste verhouding staan tot 'travel' of tenminste dat veranderingen in ongevallen in verhouding staan tot veranderingen in 'travel'.

Kamerud noemt de volgende statistische modellen voor het inschatten van veiligheidseffecten van limietveranderingen:

- multiple regressiemodellen;
- autoregressieve modellen;
- 'treatment-control' benaderingen.

Bij *multiple regressiemodellen* is de idee eerst een regressievergelijking te fitten voor de periode waarin de oude limiet nog van kracht was en om vervolgens de waarden van de predictorvariabelen gemeten in de periode met de nieuwe limiet te gebruiken als invoerwaarden in een nieuwe regressievergelijking, zodat kan worden ingeschat wat er gebeurd zou zijn als de limiet niet was ingevoerd. De regressiemodellen kunnen gebruik maken van tijdreeksengegevens (jaren/maanden) of van cross-sectionele gegevens of een combinatie van beide soorten gegevens.

In de regressievergelijkingen kunnen zowel tellingen als ongevallenquotiënten gebruikt worden. Wat betreft de functionele vorm van de vergelijking kan gekozen worden tussen een additief model voor de afhankelijke variabele of een multiplicatief model (in dat geval wordt een additief model voor de logaritme van de afhankelijke variabele genomen). Eventueel kunnen statistische procedures (bijv. de Box-Cox procedure) gebruikt worden om op grond van de gegevens zelf een transformatie van de variabelen te bepalen.

Verklarende variabelen. Als tellingen van ongevallen worden gebruikt als afhankelijke variabele, dan moet blootstelling (bijv. aantal afgelegde voertuigkilometers) als een predictorvariabele worden gebruikt, eventueel in een niet-lineaire rol. Kamerud constateert dat voor de Amerikaanse situatie indicatoren van economische activiteit (zoals bijv. het Bruto Nationaal Produkt) samenhangen met de veiligheid op de weg. Metingen van economische activiteit verklaren het aantal ongelukken; veranderingen in deze metingen verklaren het ongevallenquotiënt. Veel gebruikte predictorvariabelen in Amerikaanse studies zijn: werkloosheidsgegevens; benzineprijs; demografische variabelen; alcoholverkoop; voertuigenpark; mobiliteit van motoren en zware trucks; verkeersdichtheid ('vehicle miles per road mile'); de geschatte mate van gordelgebruik en 'trend'.

Wanneer we beschikken over gegevens in de vorm van tijdreeksen kan er gebruikt worden van *autoregressive* modellen. In deze modellen worden de ongevalgegevens uit een eerdere periode gebruikt om toekomstige ongevallen te voorspellen, eventueel met toevoeging van andere verklarende variabelen.

In ruil voor het maken van bepaalde veronderstellingen biedt de *'treatment control'-benadering* een veel simpeler manier om verschillen te schatten tussen wat er gebeurt met de nieuwe limiet en wat er gebeurd zou kunnen zijn als de oude limiet nog van kracht was geweest. Deze methoden kunnen zowel gebruikt worden bij frequentiegegevens en totale kostengegevens als bij 'rates'.

Het idee is om percentuele veranderingen in de treatment groep te vergelijken met die in de controlegroep. De termen 'treatment'-groep en 'controle'-groep hebben in dit verband niet betrekking op personen, maar op blootstellingssituaties zoals gedeelten van wegen of 'aggregates of travel'.

Bij deze benadering kunnen verschillende problemen de resultaten kunnen vertekenen. Factoren die van invloed zijn op veiligheid zoals bevolking, verkeersdichtheid, economische condities, veiligheidsmaatregelen, zouden meer kunnen veranderen in de ene groep van staten, provincies of wegen dan in een andere groep. Voor blootstelling kan in ieder geval gecontroleerd worden door 'rates per vehicle miles' in plaats van tellingen te gebruiken. Een andere mogelijke bron van vertekening is zelfselectie. De mogelijkheid bestaat dat staten of provincies die een maatregel doorvoeren, zich onderscheiden in de ontwikkeling van hun veiligheid op de weg.

4.2. Effecten van de limietverhoging

Gedurende de jaren tachtig werd de publieke steun voor de 88 km/uur limiet op de 'rural interstate highways' steeds zwakker. Publieke opiniepeilingen vonden nog wel een meerderheidssteun voor de limiet, maar het niveau van ondersteuning en van naleving nam elk jaar af. De Amerikaanse federale overheid bepaalde dat vanaf april 1987 de snelheidslimieten op 'interstate highways' buiten stedelijke gebieden met meer dan 50.000 inwoners verhoogd mogen worden van 88 km/uur tot 104 km/uur. Tegen het einde van dat jaar hadden 38 staten de snelheidslimiet verhoogd op de meeste secties van de 'rural interstate highways'. Deze 'rural interstate highways' zijn gemaakt volgens de strengste ontwerpstandaarden en vergelijkbaar met bijvoorbeeld de Duitse autosnelwegen.

In 1992 was op ongeveer 89% van de 'rural interstates'-kilometers een limiet van 104 km/uur geldig. Zeven staten lieten de limiet onveranderd: Maryland, Pennsylvania, New Jersey, New York, Connecticut, Rhode Island en Massachusetts. Deze staten zijn geconcentreerd in de geürbaniseerde, noordoostelijke gebieden van de V.S.

In de Amerikaanse discussie over de mogelijke effecten van de limietverhoging worden verschillende argumenten naar voren gebracht:

- Lave (1988) suggereert dat de limietverhoging niet automatisch gepaard hoeft te gaan met een grotere spreiding in de rijnsnelheden. Dit betekent dat een limietverhoging geen effect hoeft hebben op het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand.
- Casey en Lund (1987) waarschuwen voor wat zij noemen een snelheidsadaptatie-effect, ook wel 'spill over'-effect genoemd. Het betreft hier het fenomeen dat bestuurders gewend raken aan een snelheid op een bepaald

wegenstelsel en vervolgens geneigd zijn deze snelheden te handhaven op een ander wegenstelsel gekenmerkt door andere ontwerpstandaarden. Bij de limietverhoging zou dit fenomeen kunnen leiden tot een toename in het aantal ongevallen en verkeersdoden op wegen waar geen hogere limiet is aangebracht.

- In tegenstelling tot het 'spill over'-effect, heeft Kamerud (1988) geargumenteed dat hogere snelheidslimieten op snelwegen met de beste ontwerpstandaarden het verkeer zou weglukken van lagere kwaliteit wegen. Dit 'traffic diversion'-effect zou kunnen leiden tot een algemene verhoging van de verkeersveiligheid zelfs als er een kleine toename in dodelijk-gewonde slachtoffers als gevolg van ongevallen op de 'hogere limiet'-wegen is.

4.2.1. Onderzoek van Baum, Lund en Wells

Baum et al. (1989) rapporteren over het effect van de limietverhoging op de ongevallen met dodelijke afloop in 1987. De analysegegevens over dodelijke ongevallen werden ontleend aan het 'Fatal Accident Reporting System' (FARS). De gegevens over overleden slachtoffers werden geteld over elke maand in 1987 volgens op de maand waarin de nieuwe limiet werd geïntroduceerd. Ten einde de mogelijke invloed van jaarlijkse fluctuaties te beperken werden de overeenkomstige gegevens over overleden slachtoffers voor de periode 1982-1986 geteld over dezelfde maanden. Er was dus een vergelijking mogelijk van het aantal ongevallen met dodelijke afloop op dezelfde 'highways' gedurende dezelfde maanden in de eerdere jaren. Om het effect van de 104 km/uur te schatten werden vijfjaarsgemiddelden (1982-1986) berekend voor de ongevallen met dodelijke afloop op de 'interstates' en voor dodelijke ongevallen op alle andere wegen of op andere 'rural'-wegen. Daarna werd de ratio tussen 'rural interstate' ongevallen met dodelijke afloop en die op andere wegen in 1987 vergeleken met dezelfde ratio voor het gemiddelde van de eerdere vijf jaren. Vijfennegentig procent intervallen werden berekend voor deze 'odds ratio's' volgens methoden vermeld in Fleiss (1973).

De 'odds ratio' voor ongevallen met dodelijke afloop op 'rural interstates' vergeleken met andere 'rural'-wegen gaf een risicotename van 15% wanneer 1987 werd vergeleken met 1982-1986 (zie Tabel 7). Een bijna gelijke toename (16%) werd gevonden bij een 'odds ratio' tussen 'rural interstates' en alle andere wegen en bij een 'odds ratio' berekend voor inzittenden van passagiersvoertuigen.

	Gemiddelde Aantallen in 1987	Aantallen in '82-'86	Berekening 'odds ratio'
Alle dodelijke ongevallen			
Op 'rural interstates'	1393	1169.2	(1393/11713)
vs andere 'rural' wegen	11713	11259.2	(1169.2/11259.2) =1,15
vs alle andere wegen	19607	19110.2	(1393/19607) (1169.2/19110.2) =1,16

Tabel 7. Berekening van de 'odds ratio's' in het onderzoek van Baum et al. (1989).

In hun bespreking van de resultaten wijzen de onderzoekers erop dat de door hun gehanteerde methode waarschijnlijk een *onderschatting* geeft van het effect van de limietverhoging. 'Because of the possibility that the higher travel speeds on rural interstates may have resulted in somewhat higher speeds on some of these other roads, especially in rural areas, the method of analysis used here would tend to underestimate the increase in fatalities on rural interstates' (Baum et al., 1989; p. 1393).

De onderzoekers onderzochten tevens of andere factoren, zoals gordelwetgeving, differentiële limieten voor personenauto's en vrachtverkeer, dag versus nacht, de proportie van single of multiple vehicle crashes. De odds ratio's werden berekend voor elk niveau van een factor en met elkaar vergeleken. Er werden echter geen significante verschillen tussen 'odds ratio's' gevonden.

Alternatieve verklaringen

Volgens een interim rapport van de NHTSA (1987) zou het aantal ongevallen met dodelijke afloop dat toegeschreven kon worden aan de limietverhoging nog wel eens kunnen meevallen wanneer de volgende factoren in ogenschouw worden genomen: 1. De staten die hun limiet niet verhoogden, hadden ook een toename van ongevallen met dodelijke afloop. 2. Het aantal ongevallen met dodelijke afloop nam al toe in 1987 in de maanden voor de limietverhoging 3. Vier staten nemen het grootste aandeel van de toename van ongevallen met dodelijke afloop van 1986 tot en met 1987 voor hun rekening. De onderzoekers presenteren echter aanwijzingen waaruit blijkt dat deze factoren niet het gevonden onveiligheidseffect kunnen verklaren.

Wat betreft de eerste factor het volgende. Er was weliswaar een toename van ongevallen met dodelijke afloop op de 'rural interstates' in staten die hun limiet niet verhoogden, maar er was zelfs nog een grotere toename in ongevallen met dodelijke afloop op andere 'rural'-wegen. Er zijn dus geen aanwijzingen dat de toename van ongevallen met dodelijke afloop in staten met een verhoogde limiet het gevolg zijn van een landelijke trend. Wat betreft de tweede factor werd inderdaad gevonden dat de ongevallen met dodelijke afloop inderdaad 6% hoger waren dan verwacht in de maanden voor de limietwijziging. Maar deze 'odds ratio' was niet statistisch significant. De onderzoekers wijzen erop dat de 6% meer ongevallen met dodelijke afloop gemakkelijk toegeschreven kunnen worden aan random seizoensfluctuaties die verband houden met jaarlijks wisselende weersomstandigheden of toegeschreven kunnen worden aan een snelheidsverhoging bij automobilisten in anticipatie op de nieuwe wetgeving. In beide situaties is het niet mogelijk en ook niet gepast om de geschatte effecten van de limietverhoging aan te passen voor de niet-significante verschillen in de maanden januari-maart.

Wat betreft de derde factor merken de onderzoekers op dat de vier staten weliswaar de gegevens domineren in termen van absolute aantallen, maar dat de algemene trend van risicotename wordt gevonden bij de meeste staten met een limietverhoging: bij 24 (63%) van de 38 staten een odds ratio hadden die wees op meer ongevallen met dodelijke afloop op de 'rural interstates' dan verwacht.

4.2.2. *Recent onderzoek van Baum, Wells en Lund*

Recenter rapporteerden Baum, Wells en Lund (1990) over de effecten van de limietverhoging op ongevallen met dodelijke afloop in het jaar 1988 en

dezelfde effecten beschouwd over de gehele periode na limietverhoging, en over de mate van verandering in het effect op de ongevallen met dodelijke afloop in 1988.

Methodes

Er werd voor vier perioden een 'odds ratio' gecreëerd:

1. Een 'odds ratio' voor het effect van geheel 1988. Deze schatting vergeleek jaargegevens over de periode 1982-1986 met jaargegevens over 1988.
2. Een 'odds ratio' voor alle maanden na invoering van de snelheidslimiet in 1987 vergeleken met de corresponderende maanden in de eerdere periode 1982-1986.
3. Een in eerder onderzoek vastgestelde 'odds ratio' voor maanden in 1987 werd vergeleken met een 'odds ratio' voor de overeenkomstige maanden in 1988.

Resultaten

De voornaamste uitkomsten waren de volgende:

1. De 'odds ratio' voor jaarlijkse ongevallen met dodelijke afloop 1982-1986 vergeleken met de jaarlijkse ongevallen met dodelijke afloop geeft een toename in risico van 26% aan, wanneer de situatie op 'rural interstates' wordt vergeleken met die op de andere 'rural'-wegen. Wanneer alle andere wegen worden betrokken in de vergelijking geeft de 'odds ratio' een nog iets hogere toename van 29% aan.
2. Wanneer de gegevens over ongevallen met dodelijke afloop gedurende de postimplementatie maanden in 1988 worden vergeleken met de gemiddelde gegevens van de vergelijkbare maanden in 1982-1986, dan geven de odds ratio's een toename van 31% aan voor de vergelijking met 'rural' wegen en 32% voor de vergelijking met alle wegen. Deze odds ratio's waren tweemaal zo hoog als de vergelijkbare odds ratio's die werden geschat voor de postimplementatiemaanden in 1987.

Vergelijking	Toename risico
Jaarlijkse gegevens 1988 vs 1982-1986	
'rural interstates'	
met andere 'rural' wegen	26%
met alle andere wegen	29%
Alle maanden in 1987 en 1988 met 104 km/uur-limiet versus vergelijkbare maanden in 1985 en 1986.	
'rural interstates'	
met andere 'rural' wegen	24%
met alle andere wegen	27%
Postimplementatiemaanden: 1988 vs 1982-1986	
'rural interstates'	
met andere 'rural' wegen	31%
met alle andere wegen	32%
Postimplementatiemaanden: 1988 vs 1987	
'rural interstates'	
met andere 'rural' wegen	14%
met alle andere wegen	13%

Tabel 8. *De hoofdresultaten van Baum e.a. (1990).*

Methodologische kanttekeningen

1. De staten verschilden in het aantal maanden in 1987 tijdens welke de nieuwe limiet van kracht was; het tijdstip van implementatie van de nieuwe limiet verschildte per staat. Daarom werden tellingen van ongevallen met dodelijke afloop geaggregeerd over alle complete maanden na de maand waarin de limiet was ingevoerd. Voor alle overige jaren, werd voor elke staat de tellingen gebruikt die geaggregeerd waren over dezelfde maanden als de postimplementatiemaanden.
2. De onderzoekers merken op dat hun gegevens in feite een conservatieve schatting geven van de effecten van de limietverhoging op de ongevallen met dodelijke afloop, omdat niet alle 'rural interstate'-kilometers ook op de nieuwe limiet werd gesteld (bij 7% van deze kilometers was dit niet het geval), omdat sommige van de officiële 88 km/uur-wegen in feite - bij uitzondering toch een 104 km/uur-limiet hadden - en omdat er geen rekening werd gehouden met het zgn. 'spill over'-effect.
3. Het schatten van effect van de limietverhoging veronderstelt dat de proportionele verandering in afgelegde 'vehicle miles of travel' tussen de periode 1982-1986 en 1988 hetzelfde was voor de 'rural interstates' als voor de vergelijkingswegen. Op het moment dat het artikel werd geschreven waren nauwkeurige gegevens hierover niet bekend.

4.2.3. *Onderzoek van Pant, Adhami en Niehaus*

De limietverhoging heeft niet in alle Amerikaanse staten tot een grotere onveiligheid op de weg geleid. Pant e.a. (1992) evalueerden het effect van de limietverhoging op ongevallenverdelingen in de Amerikaanse staat Ohio. Zij analyseerden de ongevallengegevens over een periode van 36 maanden voor de limietverhoging en vóór eenzelfde periode erna voor drie categorieën wegen: (1) 'rural interstate highways' met de 104 km/uur-limiet; (2) 'rural interstate highways met de oude 88 km/uur-limiet en (3) 'rural non-interstate highways' met de oude 88 km/uur-limiet.

In de analyses werd rekening gehouden met 'vehicle miles traveled', seizoensinvloeden, dagen van de week, tijd van de dag, lichtomstandigheden. De vergelijking van 'Poisson rates' werd gebruikt om de 'mean rate of accidents' (d.w.z. 'het gemiddeld aantal ongevallen per maand na correctie voor de afgelegde voertuigkilometers per maand) voor de 36 maanden voor en na de limietverhoging te vergelijken. Voor de 'rural interstate highways' met een limiet van 104 km/uur werd geen verandering in de gemiddelde 'fatality rates' gevonden tussen de perioden voor en na de limietverandering. Er werd wel een toename in letsel- en materiële schade ongevallen geconstateerd in de naperiode. Deze toename bleek seizoensgebonden.

4.2.4. *Godwin's review van het onderzoek*

Godwin (1992) bespreekt de verschillende studies die zijn gedaan om de veiligheidseffecten van de limietverhoging op de 'rural interstates' in te schatten. Een aantal studies rapporteren over de veiligheidseffecten van de limietverhoging in afzonderlijke staten. Over het algemeen wordt in deze studies hogere rijnsnelheden en een toename in het aantal overleden slachtoffers gevonden na de limietverhoging. Deze geconstateerde toenames zijn bijna nooit statistisch significant. In methodologisch opzicht ontbreekt er het nodige aan deze studies. 'None of these studies controls for the confounding effects of speed spillover and traffic diversion, the growing use

of safety belts, or the effect of business cycle on the nature of travel and its subsequent effects on safety' (Godwin, 1992; p. 3). Het grootste gebrek bij veel studies is echter de kleine aantallen observaties. '...31 states had fewer than 50 fatalities on their rural interstates in 1986, thus unexplained and random effects could easily distort any analysis..' (Godwin, 1992; p. 3).

Limiet	Snelheidsmeting	1986	1987	1988	Verandering km/u 1986-1989
88	Gemiddeld	93.9	94.2	95.4	1.5
104	Gemiddeld	96.3	98.9	101.1	4.8
88	85ste-percentiel	103.7	105.0	106.4	2.7
104	85ste-percentiel	105.9	108.6	111.0	5.1
88	st. dev.	9.8	10.7	11.0	1.2
104	st. dev.	9.6	9.8	9.9	0.3

Tabel 9. *Jaarlijkse snelheidstrends in 18 Amerikaanse Staten (Bron: Godwin, 1992).*

Godwin bespreekt de studies naar het veiligheidseffect van de limietverhoging op nationale schaal. In deze studies zijn verschillende statistische benaderingen gebruikt. De simpelste benadering vergelijkt de ratio tussen ongevallen met dodelijke afloop op de rural interstates met die op andere wegenstelsels in 1988 met de overeenkomstige ratio over de periode 1982-1986. Met gebruikmaking van deze methode schatten Baum e.a. (1989) dat het aantal ongevallen met dodelijke afloop in 1988 26-29% hoger was dan dit geweest zou zijn zonder limietverhoging. De gebruikte statistische methode hield echter geen rekening met de toegenomen mobiliteit op de 'rural interstates' en zou derhalve het onveiligheidseffect van de limietverhoging kunnen overschatten. 'Total travel on rural interstates increased almost twice as much between 1986 and 1988 on rural interstates than on all other roads in 65-m.p.h.-states' (Godwin, 1992; p. 6).

Het Amerikaanse Department of Transportation (DOT) schatte een lineair model waarbij de gegevens over aantallen overleden slachtoffers in staten met de nieuwe limiet als afhankelijke variabele werden gebruikt en de overeenkomstige gegevens voor alle andere wegen als controlevariabele. Na aanpassing voor mobiliteitstrends, berekende DOT dat de aantallen overleden slachtoffers 21% groter waren dan verwacht. Godwin merkt op dat het DOT-model ook maar berust op twaalf datapunten.

Een manier om het aantal datapunten voor tijdreeksen modellen te vergroten is het gebruik van maandelijkse data. McKnight en Klein (1990) gebruikten maandelijkse gegevens om tijdreeksen te schatten voor ongevallen met dodelijke afloop op 'rural interstates' en andere highways in de staten met de nieuwe en ook de oude limiet. Maandelijkse gegevens over de periode 1982-1988 leverde 60 datapunten op. In de gebruikte interventie-analyse werd gecorrigeerd voor seizoens- en trendinvloeden, en voor snelheidsverschillen werd gecorrigeerd door gebruik te maken van schattingen van het aantal bestuurders dat de 104 km/uur-limiet overschrijdt. Het aantal ongevallen met dodelijke afloop per maand (in tegenstelling tot het aantal overleden slachtoffers) werd gebruikt als de afhankelijke varia-

bele. De onderzoekers schatten dat de ongevallen met dodelijke afloop op 'rural interstates' met 22% zijn toegenomen in de staten met de nieuwe limiet en dat het aantal bestuurders dat harder rijdt dan 104 km/uur met 48% is toegenomen. Toenamen in ongevallen met dodelijke afloop op andere wegen in de staten met de nieuwe limiet kwamen niet voor. De onderzoekers schatten verder dat de aantallen ongevallen met dodelijke afloop op de 'rural interstates' in de staten met de oude limiet 10% meer waren dan verwacht, dat het aantal snelheidsovertreders met 18% toenam en dat de ongevallen met dodelijke afloop op andere wegen in staten met de oude limiet 13% hoger waren dan verwacht. McKnight en Klein geven als mogelijke verklaring voor de snelheidstoename op 88 km/uur-wegen een 'spill over'-effect van het rijden op 104 km/uur-wegen. Deze verklaring gaat echter niet op voor de bevinding dat het aantal ongevallen met dodelijke afloop op andere wegen in staten met de nieuwe limiet constant bleef, terwijl in staten met de oude limiet het aantal ongevallen met dodelijke afloop zowel toenam op de 'rural interstates' als op de andere wegen. De onderzoekers speculeren dat 'traffic diversion' dit effect gedeeltelijk zou kunnen verklaren.

Garber en Graham (1990) gebruikten een multiple-regressietechniek om te controleren voor de invloed van economische omstandigheden (zoals de werkloosheid), veranderingen in snelheidslimieten, de lange-termijntrend in verbetering van veiligheid op de snelwegen, en de introductie van gordelwetgeving in vele staten. Deze onderzoekers vinden dat het aantal overleden slachtoffers op wegen met de nieuwe limiet ongeveer met 15% is toegenomen. In tegenstelling tot de eerdere bevinding van McKnight en Klein vinden Garber en Graham wel een toename van dodelijke slachtoffers op 'non-interstate' wegen in staten met de nieuwe limiet.

Beide studies hebben hun voor- en nadelen. In vergelijking met het onderzoek van McKnight en Klein, wordt in de studie van Garber en Graham een langere trend onderzocht en voor meer effecten gecontroleerd. Daar-teenover staat dat Garber en Graham geen snelheidsvariabelen in hun model hebben, en dat hun veronderstelling van lineariteit voor de lange-termijntrend in verbeterde verkeersveiligheid onterecht zou kunnen zijn en schattingen zou kunnen vertekenen. Godwin concludeert dat het feitelijke effect van de 104 km/uur-limiet op het aantal overleden slachtoffers op 'non-interstate roads' nog onduidelijk is.

Auteurs	Methode	Effecten op rural interstates in 1988
Baum et al. (1989)	Odds ratio	Overleden slachtoffers 26-29% meer dan verwacht
McKnight & Klein (1990)	Tijdreeksen/regressie	Dodelijke ongevallen 22% meer dan verwacht
DOT (1989)	Multiple regressie	Overleden slachtoffers 21% meer dan verwacht
Garber & Graham (1990)	'Pooled' tijdreeksen/regressie	Overleden slachtoffers 15% meer dan verwacht

Tabel 9. *Overzicht van de bevindingen (Bron: Godwin (1992)).*

Kritiek op Godwin's analyse

De analyse van Godwin is bekritiseerd door Lave (1992). Lave merkt op dat hij vanuit een ander referentiekader redeneert dan Godwin en andere onderzoekers. Godwin en andere onderzoekers hebben zich, aldus Lave, vooral geconcentreerd op de 'rural interstate highways', terwijl hijzelf de effecten op de aantallen overleden slachtoffers op het gehele wegensysteem in ogenschouw neemt. De limietverhoging op de 'rural interstates' kan twee gevolgen hebben voor de onveiligheid op het gehele wegensysteem:

1. Er zal een verplaatsing zijn van verkeer op 'non-interstate'-wegen naar interstate-wegen vanwege de hogere snelheden op de laatste. Dit verplaatsingseffect ('traffic diversion') zal per saldo leiden tot een minder aantal overleden slachtoffers.
2. De oude 88 km/uur-limiet heeft tot een verkeerde allocatie van politiemacht geleid. De limietverhoging zal leiden tot minder politie-inzet op de relatief veilige interstate highways waardoor deze besparing in politie-inzet aangewend kan worden voor toezicht op rijden onder invloed en op gevaarlijke wegen.

Lave produceert de volgende gegevens om zijn argumenten kracht bij te zetten:

1. Voor de 38 staten die hun limiet verhoogden was het aantal overleden slachtoffers 1,86% hoger in 1988 dan in 1986. Voor de 8 staten die de oude limiet handhaafden, was het aantal overleden slachtoffers 1,92% hoger. Over de gehele staat bekeken nam het aantal overleden slachtoffers dus iets meer toe in staten die de oude limiet handhaafden.

2. In het onderzoek waarover Godwin spreekt wordt meestal het aantal overleden slachtoffers als meting van het veiligheidseffect genomen. Het aantal overleden slachtoffers per afgelegde eenheid afstand is echter een nauwkeuriger meting aangezien deze meting standaardiseert voor verschillen in 'travel'. Het blijkt dan dat het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand is afgenomen in staten met de nieuwe limiet (van 2.572 in 1986 tot 2.419 in 1988) en is gelijk gebleven in staten met de oude limiet. Zonder deze afname in het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand zouden er 2206 meer overleden slachtoffers zijn geweest in de staten met de nieuwe limiet.

'Since there was no change in the fatality rate for the states that did not raise their speed limits, one may tentatively conclude that the decline in fatality rates for the other group of states occurred because of the change in speed limits' (Lave, 1992; p. 12).

Lave concludeert dat de limietverhoging over het geheel genomen een afname van het aantal overleden slachtoffers heeft bewerkstelligd en dat deze afname te danken is een verplaatsing van het verkeer naar de relatief veilige 'interstates' en een nuttiger inzet van politiemiddelen.

Godwin's reactie op het commentaar van Lave

Godwin stemt in met Lave dat het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand op de non-interstate wegen sterker daalde in de staten met limietverhoging dan in de staten met handhaving van de oude limiet. Uit de vierde kolom in Tabel 10 op de volgende pagina is op te maken dat de daling in het ongevalquotiënt ongeveer 3,4% meer was. Volgens de hypothese van Lave zou het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand zonder de invoering van de nieuwe limiet slechts een vermindering geven van 3,7%. Het aantal gespaarde levens is dan het verschil tussen de feitelijke vermindering van het ongevalquotiënt in 1988 (2,7) en de ge-

schatte vermindering van dit quotiënt (ongevallenquotiënt minus 3,7% vermindering) = 2,89. Gegeven een voertuigprestatie van 1.161.299 miljoen mijlen en een ongevallenquotiënt van 2,89, zouden er 33.550 verkeersdoden verwacht mogen worden, hetgeen er 1156 meer zijn dan feitelijke geconstateerd. Deze 1156 zijn dus de gespaarde levens die eventueel toe te schrijven zouden zijn aan de invoering van de nieuwe limiet.

Als, zo vervolgt Godwin zijn redenering, deze gespaarde levens toegeschreven moeten worden aan de nieuwe limiet, hoe groot moet dan de verschuiving zijn in de voertuigprestatie van de 'non-interstate' naar de 'interstate'-wegen? De rekensom die deze verschuiving laat zien is de volgende:

Non-interstate ongevallenquotiënt (= 3,0) – Interstate ongevallenquotiënt (= 1,7) = 'Gespaard' ongevallenquotiënt (= 1,3).

Gespaard ongevallenquotiënt = 1156/x
(x = verschuiving voertuigprestatie in mijlen)

Op grond van deze berekening komt Godwin tot een schatting van een verschuiving van 88.500 miljoen voertuigmijlen van de 'non-interstate' wegen naar de 'interstate'-wegen. Deze verschuiving zou voor de periode 1986-1988 een toename van 70% in afgelegde voertuigmijlen op de 'rural interstates' impliceren, terwijl in die periode slechts een toename van 14,8% is gerealiseerd. Het blijkt dus dat de verschuiving in voertuigprestatie naar de 'interstates' sinds de invoering van de nieuwe limiet niet groot genoeg is om als verklaring te kunnen fungeren voor het aantal gespaarde levens.

Interstates	Jaar	Aantal overleden slachtoffers	Miljoenen voertuigkm.	Aant. overleden slachtoffers per 100 milj. vt.km.
38 staten met nieuwe limiet	1986	1839	127563	1.44
	1988	2487	146464	1.70 (+17.8%)
8 staten met behoud oude limiet	1986	173	19704	0.88
	1988	189	21462	0.88 (0%)
Non-interstates:				
38 staten met nieuwe limiet	1986	32406	1078769	3.00
	1988	32394	1161299	2.79 (-7.1%)
8 staten met behoud oude limiet	1986	7022	283472	2.48
	1988	7144	299388	2.39 (-3.7%)

De getallen tussen haakjes in de laatste kolom geven de percentuele verandering in het aantal overleden slachtoffers per afgelegde afstand in 1986 tot 1988.

Tabel 10. *Aantallen overleden slachtoffers, miljoenen voertuigkilometers en aantallen overleden slachtoffers per 100-miljoen voertuigkilometers op rural interstates en non-interstates (Bron: Godwin, 1992).*

4.3. Uniforme vs. gedifferentieerde limieten

In een aantal Amerikaanse staten werd de oude 88 km/uur-limiet uniform opgehoogd tot 104 km/uur; andere staten hanteerden een gedifferentieerd

limietenstelsel, met 104 km/uur voor personenauto's en 88 km/uur voor zwaar verkeer. Voorstanders van een gedifferentieerd limietenstelsel argumenteerden dat een lagere limiet voor het zware verkeer de interactie tussen zwaar en licht verkeer zou beperken, en dat de lagere limiet de remafstand voor het zwaardere verkeer gelijk zou maken aan die van het lichte verkeer. Tegenstanders betoogden juist dat de verschillende limieten meer voertuigconflicten zouden oproepen, hetgeen tot uiting zou moeten komen in een toename van zekere categorieën ongevallen, waaronder kopstaartbotsingen.

Garber en Gadiraju (1992) onderzochten de effecten van de uniforme en gedifferentieerde limietverhoging op rijksnelheden en ongevallen. Zij maakten voor snelheden en ongevallen drie vergelijkingen:

1. Een vergelijking van snelheids- en ongevallenkenmerken voor en na de invoering van de gedifferentieerde limiet. De observatiewegen waren afkomstig uit vier Amerikaanse staten: California, Michigan, Virginia en Maryland.
2. Een vergelijking van snelheids- en ongevallenkenmerken voor wegen met een gedifferentieerde limiet, en controlewegen waar de oude limiet nog van kracht was.
3. Een vergelijking van snelheids- en ongevallenkenmerken voor wegen met een gedifferentieerde limiet (in de staat Virginia) en wegen met een uniforme limiet (in de staat West Virginia).

Resultaten

1. De limietverhoging voor personenauto's op 'rural interstate highways' leidde tot een toename in de gemiddelde snelheden van de personenauto's. De gemiddelde snelheid van de personenauto's nam toe van 98-102 km/uur tot 99-107 km/uur. Gemiddelde snelheden namen 2 à 5 km/uur toe. Op wegen waar de limiet voor personenauto's was verhoogd maar de limiet voor zwaar verkeer niet, bleven de gemiddelde snelheden van het zwaar verkeer gelijk.
2. De variantie in rijksnelheden van personenauto's nam af na de limietverhoging. De 'speed dispersion' verminderde ook na de limietverhoging.
3. De limietverhoging op de 'rural interstate highways' heeft niet geleid tot een significante toename in de ongevallenquotiënten.
4. Er waren geen aanwijzingen voor een 'spill over'-effect van de limietverhoging. De snelheids- en ongevallenkenmerken op controlewegen werden niet beïnvloed.
5. Vergeleken met de uniforme limiet, heeft de gedifferentieerde limiet geen statistisch significant effect wat betreft het reduceren van 'non truck/truck'-ongevallen of van twee-voertuigenongevallen. Er was wel een aanwijzing dat de gedifferentieerde limiet de ongevallenquotiënten voor sommige categorieën ongevallen zoals twee-voertuigenongevallen, doet toenemen.

5. Onderzoek in Australië en Nieuw-Zeeland

Achtereenvolgens wordt aandacht besteed aan onderzoek naar de effecten van limietverhoging in Victoria (Australië) (par. 5.1) en in Nieuw-Zeeland (par. 5.2).

5.1. Limietverhoging in Victoria (Australië)

In de Australische staat Victoria werd per 1 juni 1987 een limietverhoging van 100 km/uur naar 110 km/uur doorgevoerd op het rural en buiten Melbourne 'freeway' wegennet (N.B. Australische 'freeways' zijn niet vergelijkbaar met de Amerikaanse die van hogere kwaliteit zijn). Iets minder dan 2½ jaar later, in de periode 27-29 september 1989, werd deze limietverhoging weer ongedaan gemaakt en werd de oude limiet van 100 km/uur weer ingesteld. Sliogeris (1992) rapporteert over de effecten van de limietverhoging (Hoewel het zeker interessant zou zijn om iets te vernemen over de achterliggende redenen voor het tweemaal wijzigen van een limiet binnen een periode van drie jaar, gaat Sliogeris hierop totaal niet in).

Er is gebruik gemaakt van gegevens over ongevallen waarbij minstens één persoon gewond raakte of overleed (in het vervolg aan te duiden als letselongevallen). De gegevens zijn verzameld over drie perioden: een periode voor, tijdens en na de limietverhoging, en vergeleken met gegevens over ongevallen op een controlegroep van wegen met een 100 km/uur-limiet. Voor elk van de drie perioden zijn over ongeveer 2½ jaar gegevens aanwezig. Ongevallen op kruisingen werden buitengesloten: 'freeway interchange accidents fully on the ramps and terminating intersections and transition sections were excluded' (Sliogeris, 1992; p. 7).

De gebruikte statistische analyses waren: een binomiale test voor de vergelijking van 'rates' met een 'Normal Approximation with a control group' en een tijdreeksen-analyse met een interventievariabele waarbij rekening werd gehouden met seizoensfluctuaties.

Resultaten

De belangrijkste uitkomsten waren de volgende:

1. Wanneer rekening wordt gehouden met de ontwikkeling van ongevallen in de controlegroep, kan een 24% toename van letselongevallen per afgelegde kilometer worden geconstateerd volgend op de introductie van de 110 km/uur-limiet. Na de verwijdering van de 110 km/uur-limiet, was er een vermindering van 19% per afgelegde kilometer in letselongevallen.
2. De onderzoeker spreekt over consistente effecten als de toename van ongevallen na de limietverhoging ongeveer even groot is als de afname van ongevallen na terugkeer naar de oude limiet. De meest consistente effecten worden dan gevonden voor wegen op het platteland en wegen met een lage kwaliteitsstandaard.

Er zijn geen betrouwbare gegevens omtrent rijnsnelheden voor, tijdens en na de 110 km/uur-limiet die gebruikt kunnen worden voor een nadere analyse van de relatie tussen snelheid en ongevallen. Op grond van beperkte schattingen van rijnsnelheden in Victoria, schattingen in een andere Australische staat, New South Wales, en op grond van Amerikaanse schat-

tingen van rijsnelheden na limietverhoging, komt Sliogeris tot de volgende conclusies:

- Een verhoging van de snelheidslimiet van 100 tot 110 km/uur zal waarschijnlijk slechts een zeer kleine toename in de gemiddelde snelheid en enkel kleine veranderingen in de variantie van de snelheid tot gevolg hebben.

- De grootste verandering die zich voordoet is de verandering in de hoeveelheid voertuigen die de limiet overschrijdt. Op 110 km/uur-wegen zal 50-60% van de voertuigen harder rijden dan 110 km/uur en 12-20% harder dan 120 km/uur. Op 100 km/uur-wegen zijn de schattingen van de vergelijkbare percentages resp. 30-40% en 5-10%.

	'Voor 110 km/uur-lim' vs. 'Tijdens 110 km/u lim' % verandering	'Tijdens 110 km/u lim' vs. 'Na 110 km/u lim' % verandering
Geheel Victoria	+ 24.6%	-19.3%
Platteland	+14.8%	-16.8%
Stedelijke gebieden	+48.9%	-11.7%
Wegen van lage standaard	+20.1%	-23.1%
Wegen van mediumstandaard	-8.2%	-24.8%
Wegen van hoge standaard	+26.7%	-5.7% ns

Resultaten alle statistisch significant behalve ns (niet significant)

Tabel 11. *Percentuele veranderingen in aantallen ernstige ongevallen na limietwijzigingen in het Australische Victoria (Bron: Sliogeris, 1992).*

Methodologische kanttekeningen:

De onderzoeker geeft zelf aan dat de gebruikte controlegroep van wegen in bepaalde opzichten afwijkt van de wegen met een limietwijziging. 'The control group is a weak one in the sense that the physical road profiles were largely different to the freeways' (Sliogeris, 1992, p. 9). Hij meent echter dat de controlegroep wel een goede controle vormt voor globale factoren die van invloed zijn op ongevallen, zoals economische activiteit, mediacampagnes, veranderingen in het voertuigpark, veranderingen in verkeersdichtheid.

5.2. Limietverhoging in Nieuw-Zeeland

Op 1 juli 1985 werden de snelheidslimieten op de Nieuw-Zeelandse wegen verhoogd met 20 km/uur voor personenauto's en zwaar verkeer. Aanleiding voor de limietverhoging waren onderzoekresultaten die aangaven dat de rijsnelheden ver boven de limiet waren wanneer de wegcondities en de geometrie van de weg uitnodigden tot een vrije snelheidskeuze. De nieuwe limieten werden ongeveer ingesteld op de heersende gemiddelde rijsnelheden.

Voertuigtype	Oude limiet (km/uur)	Nieuwe limiet (km/uur)
Auto's, motorfietsen	80	100
Zwaar verkeer	70	90
Verkeer met aanhangers	70	80
Bussen	80	90
Schoolbussen	70	80

Tabel 12. *Limietverhoging in Nieuw-Zeeland.*

Effecten op rijksnelheden

Ten behoeve van de evaluatie van de effecten van deze limietverhoging op de rijksnelheden werden er snelheidsmetingen verricht in de perioden juni-september 1984 en 1986, en in januari-februari 1985 en 1987. Barnes en Edgar (1987) rapporteren over de resultaten. In een periode van 2 jaar stegen de rijksnelheden op 'rural roads' met ongeveer 3 à 4 km/uur en op de 'motorways' met 4 à 7 km/uur. Deze toename gebeurde niet plotseling, maar geleidelijk over de 12 tot 18 maanden die volgden op de limietverhoging. Een gedeelte van de 3 à 4 km/uur-verhoging in rijksnelheden moet echter toegeschreven worden aan een langer durende trend in de verhoging van rijksnelheden als gevolg van verbeteringen in het voertuigpark. Rekening houdend met deze trend, concluderen de auteurs '...that it is unlikely that more than a 1 to 2 km/h speed increase resulted from the 20 km/h speed limit increase' (Barnes en Edgar, 1987; p. 585).

Op wegen met slechtere standaarden en slechter ontwerp of op stedelijke wegen werd nauwelijks een effect van de limietverhoging gevonden. 'It would appear that the increased speed limit has had little impact on car speeds outside sections of open road having high design standards. This tends to support a hypothesis that drivers habitually select their speed on their perceptions of the capability of their vehicle and the road environment and hence are little influenced by speed limits until presented with high standard roads together with an enforcement presence' (Barnes & Edgar, 1987; p. 590). Wat betreft de standaardafwijkingen in de rijksnelheden werden er, met uitzondering van een motorway, geen significante verschillen gevonden over de twee-jaarperiode van voor- tot nameting. Verder bleek dat de snelheden van andere voertuigen, zoals zwaar verkeer en bussen nauwelijks beïnvloed werden door de limietverhoging. De onderzoekers concluderen dat de snelheidslimiet weinig invloed heeft gehad als een snelheidsregulerend middel. Bij het huidige niveau van politietoezicht worden de rijksnelheden primair bepaald door het vermogen van het voertuig, de wegomgeving en de snelheid van het overige verkeer.

Effecten op ongevallen

Jones e.a. (1987) verrichtten een studie over de effecten van de limietverhoging in Nieuw-Zeeland op het aantal ongevallen met dodelijke afloop per vier-wekenperioden.

Voor de analyse werden vier-wekelijkse tijdreeksengegevens gebruikt lopend over de jaren 1981 t/m 1986. Er werd gebruik gemaakt van vier-wekenperioden, omdat het aantal weekeinden per maand kan variëren, hetgeen vergelijking over jaren bemoeilijkt. Het volgende model werd voor de tijdreeksenanalyse gespecificeerd:

$$X_t = C + T.t + S_t + p. I_t + E_t$$

waarbij de parameters de volgende betekenis hebben

X_t = het aantal ongevallen met dodelijke afloop per periode t

C = constante

T = lineaire-trendparameter

t = tijd in vier-wekenperioden

S_t = het seizoenseffect

p = de regressieparameter voor het interventie-effect

I_t = de dummyvariabele die de limietwijziging aangeeft

E_t = de errorterm (verondersteld als 'autoregressief proces')

De resultaten

Het gefitte interventiemodel geeft een schatting van 5,3 meer fatale ongevallen per vier-wekelijkse periode in de 18 maanden na de limietverhoging dan in de voorgaande periode van 4½ jaar, ofwel een toename van 12% in de 'fatal accident rate'. Verder is geschat dat er 7,7 meer overleden slachtoffers per vier-wekelijkse periode zijn sinds de limietverhoging, dat wil zeggen een toename van bijna 15% in het aantal overleden slachtoffers ten tijde van de limietverhoging.

Opmerkelijk is dat de geschatte grootte van de toename in ongevallen met dodelijke afloop 12% was voor zowel 'rural' als stedelijke wegen ondanks het feit dat de limiet op stedelijke wegen niet was verhoogd. De geschatte toenames in ongevallen met dodelijke afloop waren niet statistisch significant verschillend van de 0-waarde. Verder bleek dat het patroon van geschatte waarden ook erg verschillend was bij verschillende opsplitsingen van de gegevens. Voor de Noordelijke regio suggereerden de geschatte waarden een lichte daling in ongevallen op 'rural roads' en een stijging van ongevallen met dodelijke afloop op stedelijke wegen, terwijl het omkeerde patroon werd gevonden voor de Middenregio. Ook de schatting voor de gedesaggregeerde gegevens verschilden niet significant van de 0-waarde.

In de bespreking van de resultaten wijzen de auteurs erop dat er de geringe toename in het brandstofverbruik over de jaren 1982-1986 geen aanwijzingen ervoor levert dat de afgelegde afstand van het voertuigenpark sterk is toegenomen sinds de invoering van de limietverhoging. De geconstateerde toename in het aantal ongevallen met dodelijke afloop kan dus waarschijnlijk niet toegeschreven worden aan de verandering in de afgelegde afstand. Dit maakt het waarschijnlijker dat een verandering in rijpatronen, zoals hogere rijsnelheden, iets te maken hebben gehad met deze toename. Maar deze redenering gaat niet zonder meer op vanwege het feit dat de toename in ongevallen met dodelijke afloop meteen na de limietwijziging plaatsvond, terwijl de verhoging van de rijsnelheden niet erg groot was en zich pas geleidelijk ontwikkelde. Hoe kan een geringe verhoging in rijsnelheden een toename in ongevallen met dodelijke afloop tot stand brengen? De auteurs geven twee mogelijke verklaringen:

1. Een 'drempel' effect: er zou een 'kritische' snelheid kunnen zijn voor een bepaalde categorie voertuigen en omgevingscondities, boven welke vele bestuurders een sterk verhoogd risico hebben om de controle over hun voertuig te verliezen. In dat geval zou een geringe toename in de rijsnelheid tot dichtbij de kritische grens voldoende zijn om de dodelijke-ongevallenquotiënt te verhogen. De onderzoekers achten deze verklaring echter niet bijzonder aannemelijk .

2. Er zou een meer indirect verband kunnen zijn tussen de limietverhoging en de verhoging in aantallen ongevallen. Voorafgaand aan de limietverhoging reden vele bestuurders ver boven de toenmalige limiet. Er zou verondersteld kunnen worden dat onder deze condities de bestuurders extra voorzichtig waren vanwege het risico om staande gehouden te worden door de politie. Na de limietverhoging zou deze voorzichtigheid achterwege blijven, waardoor het aantal ongevallen is toegenomen. Gegeven de aard van de bevindingen zijn de onderzoekers genoodzaakt te concluderen dat de rol welke de snelheidslimiet heeft gespeeld in het ongevallengenererende proces nog onvoldoende duidelijk is. 'This equivocal evidence together with the small size of increases in observed speeds detected after the speed limit change leaves the role played by the speed limit in the accident changes unclear' (Jones e.a., 1987; p. 606).

6. Discussie en conclusies

In het algemeen moet worden vooropgesteld dat rijnsnelheid alleen niet de oorzaak is van verkeersongevallen. Het is veelal een combinatie van factoren die voor een probleem zorgen. Het is de kunst van de automobilist om in elke situatie zijn rijnsnelheid aan te passen aan de mogelijkheden die weg, omgeving en verkeersstroom bieden. Het spreken over *de* relatie tussen rijnsnelheid en verkeersongevallen geeft in feite een sterk versimpelde voorstelling van zaken.

Het onderzoek naar relaties tussen rijnsnelheid en verkeersongevallen heeft zich voornamelijk gericht op het verkeer op (auto)snelwegen. Er zijn verbanden geconstateerd tussen enerzijds rijnsnelheid en primaire preventie (preventie van ongevallen), en rijnsnelheid en secundaire preventie (preventie van letsel bij ongevallen).

Rijnsnelheid en secundaire veiligheid

In verschillend onderzoek is gevonden dat bij hogere rijnsnelheden de botsemst toeneemt. Een hogere rijnsnelheid leidt in het algemeen tot een hogere botssnelheid. Daarbij moet meer energie worden omgezet en omdat deze kwadratisch toeneemt met de snelheid, leidt dit tot grotere vertraging en vervorming en dus tot meer letsel en grotere schade. Wanneer een bestuurder bijvoorbeeld zijn snelheid verhoogd van 40 naar 120 km/uur dan is er een drievoudige toename in snelheid, maar de te verwerken botsenergie is vernegenvoudigd. Daarnaast is het ook zo dat hogere botssnelheden het beschermende vermogen van veiligheidsvoorzieningen zoals autogordels, verminderen.

Zeer recent heeft Joksch (1993) betoogd dat het overlijdensrisico bij een motorvoertuigbotsing bij benadering evenredig is aan de vierde macht van de snelheidsverandering tijdens de botsing (zie Bijlage 1.1).

Rijnsnelheid en primaire veiligheid

In het vroege Amerikaans onderzoek in de jaren zestig is een U-vormig verband gevonden tussen betrokkenheid bij verkeersongevallen per afgelegde afstand en de afwijking van de gemiddelde rijnsnelheid. Het lijkt onwaarschijnlijk om deze U-curve af te doen als zijnde het gevolg van fouten bij het schatten van de rijnsnelheden. In later onderzoek waarin meer aandacht is besteed aan de betrouwbaarheid van de snelheidsschattingen wordt opnieuw een U-curve gevonden (RTI, 1970). Bovendien is de door Solomon gevonden U-curve ook theoretisch verklaarbaar (Hauer, 1971). Uit de in onderzoek gevonden U-curve kunnen geen precieze kwantitatieve uitspraken over de relatie tussen rijnsnelheid en verkeersongevallen worden afgeleid voor de Nederlandse situatie. In de verschillende Amerikaanse onderzoeken hebben de gevonden U-curven steeds een iets andere vorm. Solomon constateert bijvoorbeeld dat de ongevallenbetrokkenheid minimaal is bij snelheden die 8 à 16 kilometer hoger zijn dan het gemiddelde, terwijl Cirillo de laagste ongevallenbetrokkenheid vindt bij snelheden van rond de 19 km/uur boven de gemiddelde snelheid. De door RTI gevonden U-curve is veel vlakker dan die van Solomon.

De bevinding van een minimale ongevallenbetrokkenheid bij enkele kilometers *boven de gemiddelde snelheid* is, evenals de U-curve zelf, op verschillende manieren te verklaren. Een mogelijke verklaring gaat uit van een scheve verdeling van rijnsnelheden. In dat geval kan de mediaansnel-

heid boven de gemiddelde snelheid liggen. Volgens het theoretische model van Hauer kan afgeleid worden dat het aantal inhaalmanoeuvres minimaal is bij de mediaansnelheid. Een andere verklaring is dat op de meest veilige wegen iets sneller dan gemiddeld wordt gereden. Dit behoeft wellicht enige toelichting. We moeten bedenken dat in het onderzoek van Solomon de gemiddelde snelheid berekend is over uiteenlopende wegvakken van verschillende 'kwaliteit' of ontwerpstandaard. Het is goed voor te stellen dat juist op stukken weg met een uitstekende ontwerpstandaard hoge snelheden worden gereden die boven het gemiddelde van de totale populatie rijksnelheden liggen. De goede ontwerpstandaard van de wegen waarop de meer dan gemiddelde snelheden worden geobserveerd, is dan de uiteindelijke verklaring ervoor dat bovengemiddelde rijksnelheden en een minimale ongevallenbetrokkenheid kunnen samengaan.

Er is ook veel onderzoek verricht naar de relatie tussen het ongevallenquotiënt (ongevallen per 10^6 voertuigkilometers) en de intensiteiten. Dit onderzoek levert aanwijzingen op voor een U-vormig verband. In kwantitatieve zin blijken er enorme verschillen te bestaan tussen de onderzoekresultaten.

Kwantificering van de relatie tussen rijksnelheid en verkeersongevallen

Scandinavische onderzoekers (Nilsson, 1981; Salusjärvi, 1981) hebben formules opgesteld om de kwantitatieve relaties tussen rijksnelheid en verkeersongevallen weer te geven. Er kunnen enkele kritische kanttekeningen bij de resulterende kwantitatieve formules geplaatst worden. *Ten eerste* hebben de formules van Salusjärvi betrekking op de aantallen overleden of andere slachtoffers in plaats van de meer betrouwbare maten van aantallen slachtoffers per afgelegde afstand. *Ten tweede* wordt in de formules impliciet ervan uitgegaan dat alle reducties in verkeersonveiligheid volledig op het conto geschreven kunnen worden van de reducties in rijksnelheden, terwijl de mogelijke effecten van andere factoren die bijgedragen kunnen hebben aan een veiliger rijgedrag, zoals voorlichting en toezicht, niet worden meegenomen. *Ten derde* laten de formules over verandering in rijksnelheid en verandering in onveiligheid het aspect van de spreiding in rijksnelheden volledig buiten beschouwing.

De formules dienen eerder opgevat te worden als beschrijvingen van aan tijd en plaats gebonden onderzoeksgegevens dan als bewezen wetmatigheden. Of zoals een onderzoeker het uitdrukt: 'Deze bevindingen vormen geen garantie dat elke snelheidsverandering als ware het een algemeen toepasbaar nomogram tot eenzelfde mate van veiligheidsverandering zal leiden. Er zijn ook voorbeelden bekend dat deze relatie niet kon worden geconstateerd' (Wegman, 1991, p. 10).

De formules omtrent de relatie tussen rijksnelheid en onveiligheid schetsen een eenvoudig effect van snelheid op onveiligheid op een geaggregeerd niveau. Op een geaggregeerd niveau eenvoudige effecten van snelheid op onveiligheid zijn waarschijnlijk opgebouwd uit verschillende deeleffecten die voor verschillende wegsituaties, verkeerssituaties, snelheidsniveaus e.d. zeer verschillende kwantitatieve verbanden opleveren. Onderzoek dat nader ingaat op deze deeleffecten is nog nauwelijks gedaan, waarschijnlijk vanwege de grote tijdrovendheid en kostbaarheid ervan.

In het vervolg van deze discussie richten we onze aandacht op de mogelijkheden voor het onderzoeken van de relaties tussen snelheden en ongevallen.

Mogelijkheden voor onderzoek

Er zijn twee onderzoekbenaderingen denkbaar. In de *eerste* onderzoekbenadering wordt op grond van theoretische of beleidsoverwegingen een selectie gemaakt van condities of situaties binnen welke men de relatie tussen rijnsnelheid en de ongevallenkans of ongevallenemst nader wil specificeren. Er wordt gefixeerd op situaties met specifieke kenmerken, en binnen deze situaties worden relaties tussen snelheden en kenmerken van de snelheidsverdeling en specifieke typen ongevallen bestudeerd. Laten we een voorbeeld geven. Men wil bijvoorbeeld voor bochten buiten de bebouwde kom nagaan in hoeverre snelheid samenhangt met de kans op een specifiek type ongeval, bijvoorbeeld de kans dat het voertuig de bocht uitvliegt. Binnen deze algemene conditie is weer een aantal subcondities te onderscheiden, bijv. bochten met verschillende boogstraal en verschillende stroefheid van wegdek. Vervolgens zou voor elk van de onderscheiden subcondities via onderzoek de relaties tussen rijnsnelheid en ongevallenkans kunnen worden nagegaan. Er is echter een probleem bij dit soort onderzoek. Hoe meer het onderzoek wordt uitgesplitst naar verschillende situaties, des te kleiner het aantal ongevallen dat in elke situatie gevonden wordt, en des te kleiner de betrouwbaarheid van de ongevallengegevens. Daarnaast is er het praktische probleem om goedkoop en snel snelheidsgegevens te verkrijgen van de verschillende condities die zijn gespecificeerd.

In de *tweede* onderzoekbenadering wordt uitgegaan van de praktische mogelijkheden of middelen voor onderzoek die al aanwezig zijn, en waarbij aansluiting kan worden gezocht. We kunnen spreken van een meer opportunistische strategie. Concrete mogelijkheden voor onderzoek aan de hand van bestaande materialen of metingen zijn de volgende:

1. Een onderzoek naar de relatie tussen rijnsnelheid en verkeersongevallen aan de hand van de bestudering van processen-verbaal. Uit de processen-verbaal kan informatie worden verkregen over de (geschatte) snelheden van bij ongevallen betrokken auto's en verdere kenmerken van het ongeval. Door van te voren het aantal ongevallen te specificeren dat voldoende betrouwbaar is om specifieke relaties te onderzoeken, zou dit onderzoek tegemoet kunnen komen aan de eis van betrouwbaarheid. Bij de bestudering en verwerking van waarschijnlijk duizenden processen-verbaal moeten we echter wel denken aan een zeer arbeidsintensief onderzoek, dat alleen met inzet van stagiaires binnen financiële perken kan worden gehouden.
2. Het koppelen van informatie over rijnsnelheden en kenmerken van de snelheidsverdeling die afkomstig is van bestaande snelheidsmeetnetten, aan informatie over ongevallen op de betreffende weggedeelten. Op autosnelwegen worden al geruime tijd snelheidsgegevens geregistreerd. Terwijl in het kader van het project 'Monitoring rijnsnelheden op 80 en 100 km/uur-wegen' in het jaar 1994 ook snelheidsmetingen op provinciale wegen zullen worden verricht in de provincies Friesland en Overijssel. Daarnaast zijn in datzelfde jaar ook snelheidsmetingen gepland op provinciale wegen in Limburg. De gegevens die worden geregistreerd zijn de standaardkenmerken van de snelheidsverdeling van personen- en vrachtverkeer, d.w.z. gemiddelde snelheid, 15-, 50-, 85-, en 90-percentiel, standaardafwijking, scheefheid en volgtijd. Op basis van de meetgegevens kunnen percentage vrachtverkeer, verschillensnelheid, dichtheid, bedekkingsgraad en mate van clustering worden afgeleid.

Literatuur

- Albar, H.O.; Abdulrahim, H.A. & Jamjooon, M.M.O. (19?). *Causes of traffic accidents in Jedah*. Paper C 1498. King Abdulaziz University, Saoedie-Arabië.
- Barnes, J.W. & Edgar, J.P. (1987). *The effects of the 1985 rise in open road speed limits on vehicle speeds*. In: New Zealand Rooding Symposium Traffic and Safety, The Human Resource. NRB, Wellington, Nieuw-Zeeland.
- Baum, H.M.; Lund, A.K. & Wells, J.K. (1989). *The mortality consequences of raising the speed limit to 65 mph on rural interstates*. American Journal of Public Health 79, 1392-1395.
- Baum, H.M.; Wells, J.A. & Lund, A.K. (1990). *Motor vehicle crash fatalities in the second year of 65 mph speed limits*. Journal of Safety Research 21, 1-8.
- Botma, H. (1977). *State of the art rapport 'Verkeersstroommodellen'; Deel II. Macroscopisch verkeersstroomkenmerken*. R-77-40. SWOV, Voorburg.
- Botma, H. (1978a). *State of the art rapport 'Verkeersstroommodellen'. Deel V. Mesoscopische verkeersstroomkenmerken*. R-78-39. SWOV, Voorburg.
- Botma, H. (1978b). *State of the art rapport 'Verkeersstroommodellen'. Deel VII. Microscopisch verkeersstroomkenmerken*. R-78-41. SWOV, Voorburg.
- Casey, S. & Lund, A. (1987). *Changes in speed and speed adaptation following increases in national maximum speed limit*. Insurance Institute for Highway Safety. Arlington, Virginia.
- Cerelli, E. (1977). *Safety consequences of raising the national speed limit from 55 mph. to 60 mph*. NHTSA, Washington D.C.
- Cirillo, J.A. (1968). *Interstate system accident research study II*. Public Roads 35, 71-75.
- Cowley, J.E. (1987). *The relationship between speed and accidents: A literature review*. Report GR/87/2. Road Traffic Authority, Hawthorn.
- Fieldwick, R. & Brown, R.J. (1987). *The effect of speed limits on road casualties*. Traffic Engineering & Control 28, 635-640.
- Fleiss (1973). *Statistical methods for rates and proportions*. Wiley and Sons, New York.
- Garber, N.J. & Gadiraju, R. (1988). *Speed variance and its influence on accidents*. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington.

Garber, N.J. & Gadiraju, R. (1991). *Impact of differential speed limits on highway speeds and accidents*. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington.

Garber, N.J. & Gadiraju, R. (1992). *Impact of differential speed limits on the speed of traffic and the rate of accidents*. Transportation Research Record 1375, 44-52.

Garber, S. & Graham, J.D. (1990). *The effects of the new 65 mile-per-hour speed limit on rural highway fatalities: A state-by-state analysis*. Accident Analysis and Prevention 22, 137-149.

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)*. Transport Reviews 12, 1-14.

Hauer, E. (1971). *Accidents, overtaking and speed*. Accident Analysis and Prevention 3, 1-13

Heimbach, C.L. & Vick, H.D. (1968). *Relating change of highway speed per unit of time to motor vehicle accident rates*. North Carolina State Highway Commission and U.S. Bureau of Public Roads, North Carolina.

Hendrickx, L.C.W.P. & Hoeven, W. van der (1987). *De relatie tussen rijsnelheid, wegkarakteristieken en ongevallen op 80 km-wegen. Deel 1: Theoretische analyse*. VK 87-04. Verkeerskundig Studiecentrum, Haren.

Joksch, H.C. (1975). *An empirical relationship between fatal accident involvement per accident involvement and speed*. Accident Analysis and Prevention 7, 129-132.

Jones, W.R.; Derby, N.M. & Frith, W.J. (1987). *Raising the open road speed limit: The effect on accident rates*. In: New Zealand Rooding Symposium Traffic and Safety, The Human Resource. NRB, Wellington, Nieuw-Zeeland.

Kampen, L.T.B. van (1985). *Rijsnelheid, botssnelheid en afloop van botsingen tussen tweewielers en motorvoertuigen*. R-85-8. SWOV, Leidschendam.

Kamerud, D.B. (1988). *Evaluating the new 65 mph speed limit*. In: J.D. Graham (Ed.). Preventing Automobile Injury. New Findings from Evaluation Research. Auburn House, Dover, Massachusetts.

Larsen, L.; Salusjärvi, M.; Sakshaug, K. & Nilsson, G. (1990). *Speed and safety. Research results from the Nordic countries*. Swedish Road and Traffic Research Institute, Linköping.

Lave, C. (1988). *The 55 m.p.h. speed limit on U.S. roads: Comments on Godwin and Kulash's analysis*. Transport Reviews 8, 237-244.

- Lave, C. (1992). *Comment on Stephen R. Godwin's: 'Effect of the 65 m.p.h. speed limit on highway safety in the U.S.A.'*. *Transport Reviews* 12, 1-14.
- Munden, J.M. (1967). *The relation between a driver's speed and his accident rate*. Transport and Research Laboratory. Crowthorne, England.
- Nilsson, G. (1982). *The effect of speed limits on traffic accidents in Sweden*. VTI-report No 68, VTI, Linköping.
- McKnight, A.J. & Klein, T. (1990). *The relationship of the 65 m.p.h. speed limit to speeds and fatal accidents*. Paper presented to the 69th Annual Meeting of the Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C.
- NHTSA (1988). *Interim report on the safety consequences of raising the speed limit on rural interstate highways*. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Nilsson, G. (Ed.) (1990). *Speed and safety; Research results from the Nordic Countries*. VTI, Linköping.
- OECD (1981). *Proceedings OECD symposium on the effects of speed limits on traffic accidents and transport use*. An Foras Forbatha, Dublin.
- Oei, H.L. (1990). *Snelheid en verkeersonveiligheid op 80 km/uur-wegen. Een literatuurstudie*. R-90-30. SWOV, Leidschendam.
- Oei, H.L. & Polak, P.H. (1992). *Effect van automatische waarschuwing en toezicht op snelheid en ongevallen*. R-92-23. SWOV, Leidschendam.
- Pant, P.D.; Adhami, J.A. & Niehaus, J.C. (1992). *Effects of the 65 mph speed limit on traffic accidents in Ohio*. *Transportation Research Record* 1375, 53-60.
- Research Triangle Institute (1970). *Speed and accidents, Vol. I*. RTI, North Carolina.
- Research Triangle Institute (1970). *Speed and Accidents, Vol. II*. RTI, North Carolina.
- Rooijers, A.J. (1989). *Evaluatie snelheidslimieten op autosnelwegen*. VK 89-17. Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.
- Sliogeris, J. (1992). *110 kilometer per hour speed limit-evaluation of road safety effects*. Rapport GR 92-08. Vic Roads, Kew Vic, Australia.
- Solomon, D. (1964). *Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle*. Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce.
- Vaughan, R.J. (1970). *Speed and accidents on rural roads*. *Australian Road Research* 4.

Wagenaar, A.C.; Streff, F.M. & Schultz, R.H. (1990). *Effects of the 65 mph speed limit on injury morbidity and mortality*. Accident Analysis and Prevention 22, 571-585.

Wegman, F.C.M. (1981). *Snelheidsbeperkingen in Nederland*. R-81-25. SWOV, Leidschendam.

Wegman, F.C.M.; Wesemann, P. & Blokpoel, A. (1985). *Snelheidslimieten op autosnelwegen*. R-85-49. SWOV, Leidschendam.

Welbourne, E.R. (1979). *Exposure effects on the rate and severity of highway collisions at different travel speeds*. Technical Memorandum Vehicle Systems 7903.

Werken, R. van de (1990). *Hoe snel gaat Bartje naar Groningen? Onderzoek naar de relatie tussen ongevallen en snelheidsbeeld op de A-28 in Groningen*. Stageverslag Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.

West, L.B. & Dunn, J.W. (1971). *Accidents, speed deviation and speed limits*. Traffic Engineering.

White, S.B. & Nelson, A.C. (1970). *Some effects of measurement errors in estimating involvement rate as a function of deviation from mean traffic speed*. Journal of Safety Research 2, 67-72.

Afbeeldingen 1 t/m 11

Afbeelding 1. *Betrokkenheid bij ongevallen per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).*

Afbeelding 2. *Aantallen gewonde slachtoffers per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).*

Afbeelding 3. *Materiële schade van ongevallen per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).*

Afbeelding 4. *Aantallen letselslachtoffers per 100 bij ongevallen betrokken voertuigen en materiële schade per bij een ongeval betrokken voertuig in dollars in relatie tot de rijsnelheid (Bron: Solomon, 1964).*

Afbeelding 5. *De relaties tussen de betrokkenheidsquotiënten en rijsnelheid, en tussen aantallen inhaalbewegingen en rijsnelheid bij dag en nacht (Bron: Hauer, 1971).*

Afbeelding 6. *Rijsnelheid op autosnelwegen van april 1988 - mei 1989 (Bron: Rooijers, 1989).*

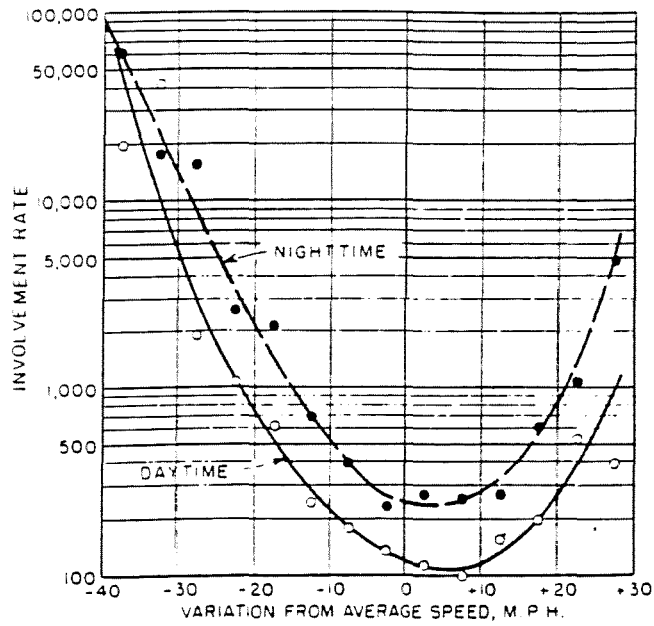
Afbeelding 7. *De verandering in gemiddelde snelheid als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).*

Afbeelding 8. *De verandering in de 85ste-percentielsnelheden als een functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).*

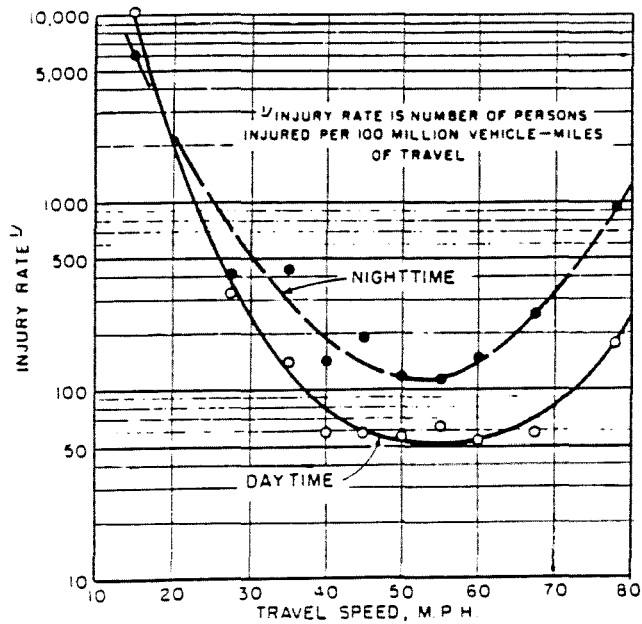
Afbeelding 9. *De verandering in standaardafwijking van de rijsnelheden als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).*

Afbeelding 10. *De verandering in het totale aantal ongevallen (figuur links) en het aantal ongevallen met overleden of gewonde slachtoffers (figuur rechts) als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).*

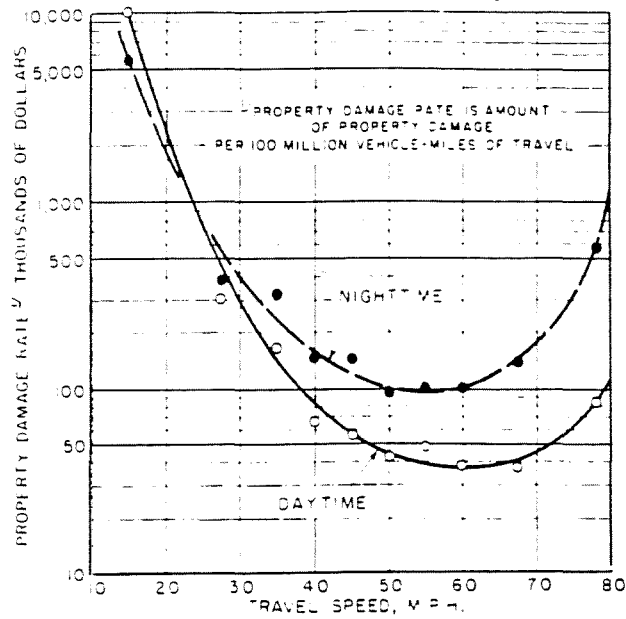
Afbeelding 11. *De verandering in het totale aantal ongevallen (lineaire fit) en in de aantallen ongevallen met dodelijke afloop en letselongevallen (niet lineaire fit) als functie van veranderingen in gemiddelde snelheid (Bron: Salusjärvi, 1990).*



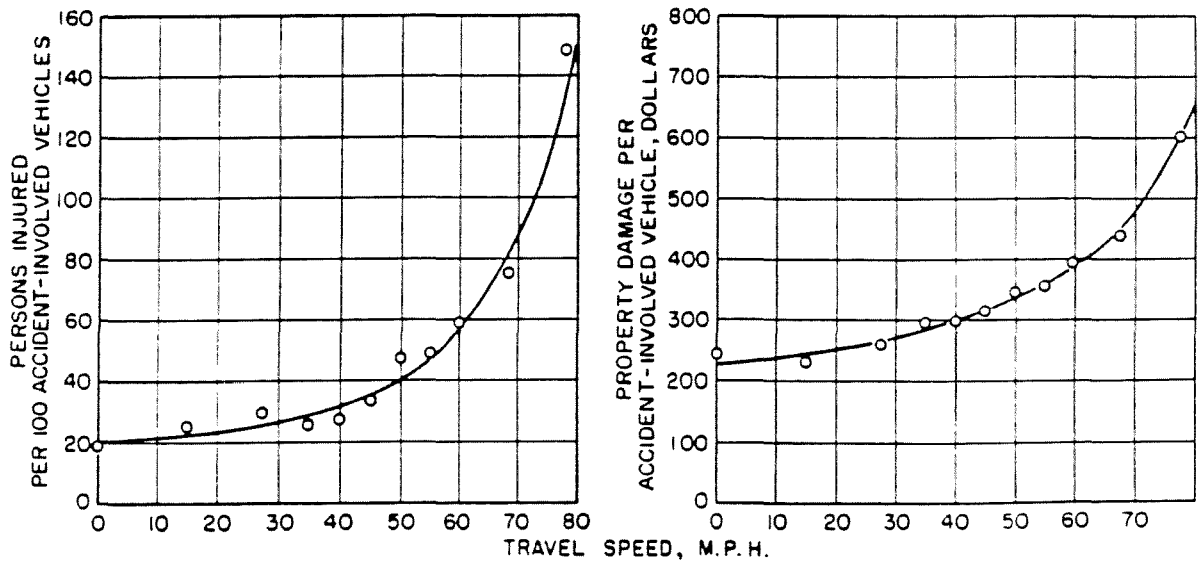
Afbeelding 1. Betrokkenheid bij ongevallen per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).



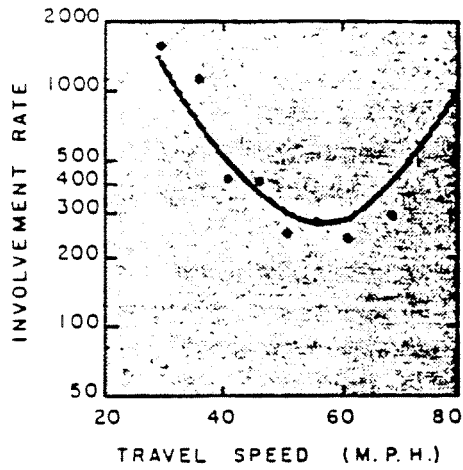
Afbeelding 2. Aantallen gewonde slachtoffers per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).



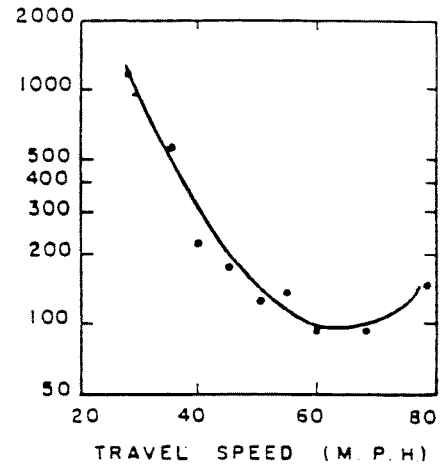
Afbeelding 3. Materiële schade van ongevallen per 100 miljoen afgelegde voertuigmijlen afgezet tegen de rijsnelheid in mijlen, voor dag en nacht (Bron: Solomon, 1964).



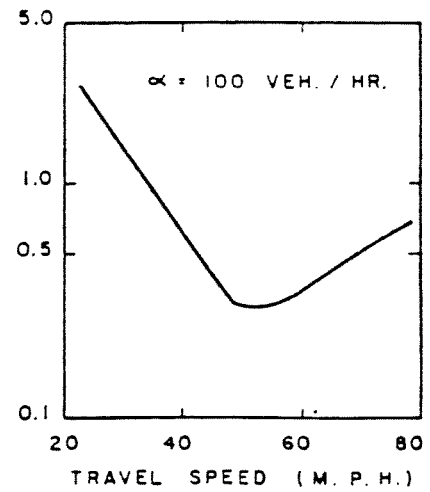
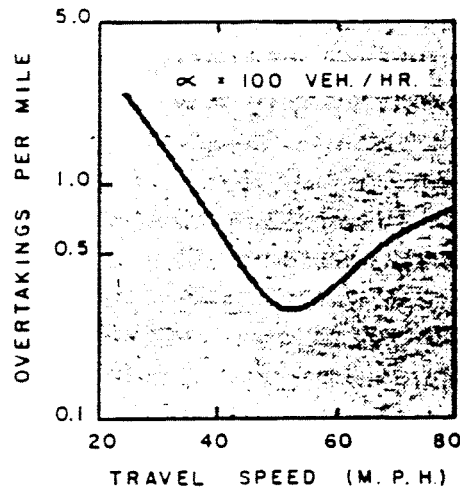
Afbeelding 4. Aantallen letselslachtoffers per 100 bij ongevallen betrokken voertuigen en materiële schade per bij een ongeval betrokken voertuig in dollars in relatie tot de rijsnelheid (Bron: Solomon, 1964).



NIGHT

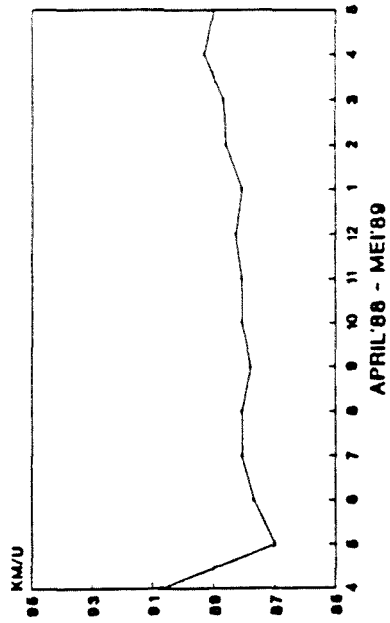


DAY

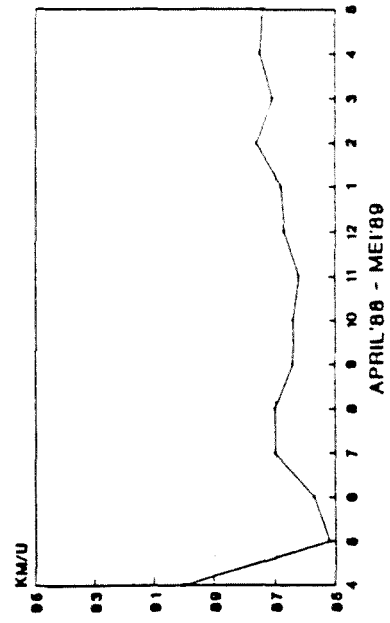


Afbeelding 5. De relaties tussen de betrokkenheidsquotiënten en rijnsnelheid, en tussen aantallen inhaalbewegingen en rijnsnelheid bij dag en nacht (Bron: Hauer, 1971).

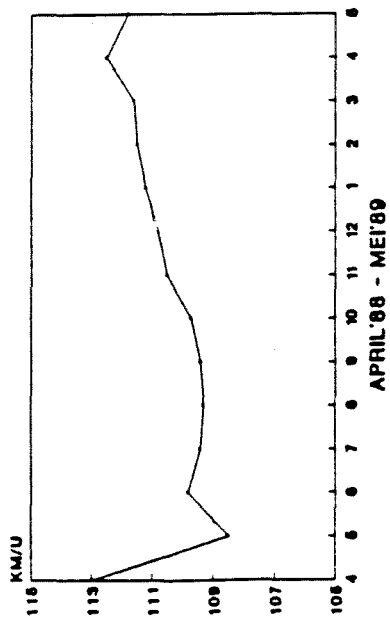
VRACHTWAGENS
op 120 km-wegen



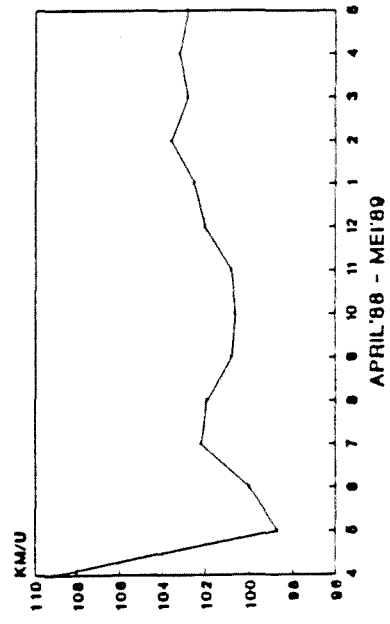
VRACHTWAGENS
op 100 km-wegvakken



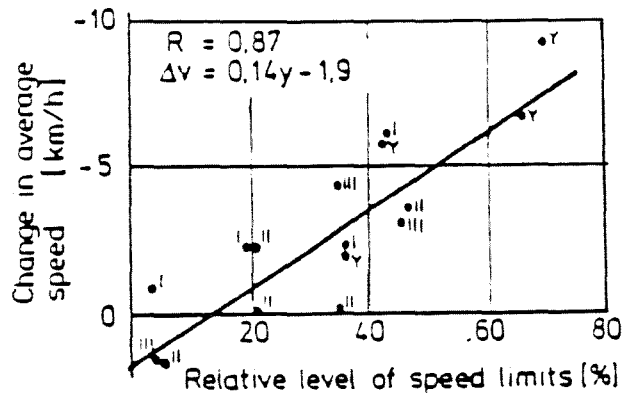
PERSONENAUTO'S
op 120 km-wegen



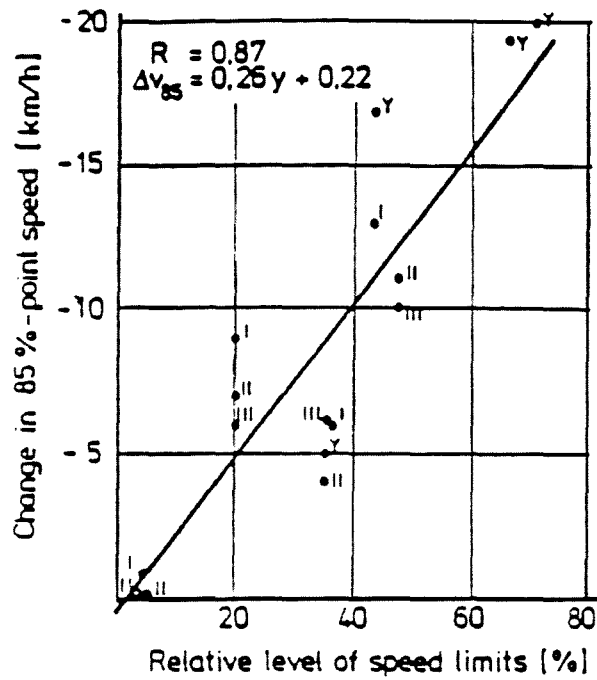
PERSONENAUTO'S
op 100 km-wegvakken



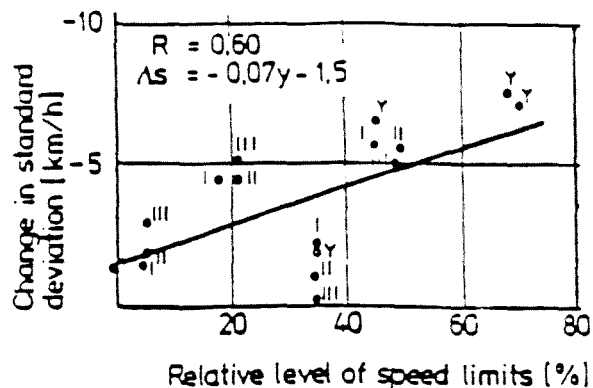
Afbeelding 6. Rijsnelheid op autosnelwegen van april 1988 - mei 1989
(Bron: Rooijers, 1989).



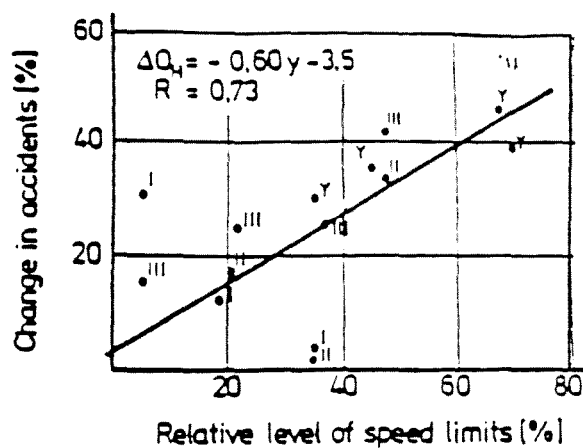
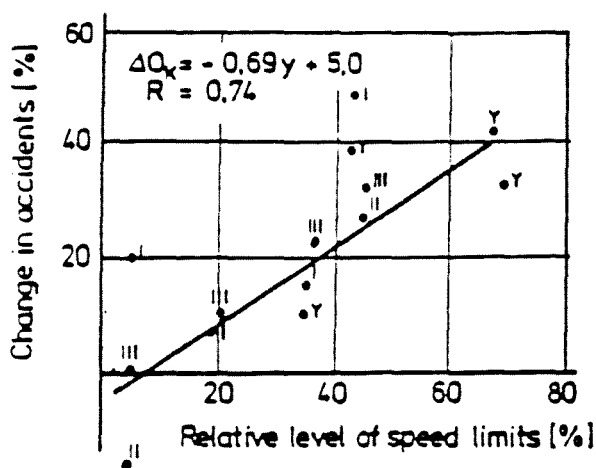
Afbeelding 7. De verandering in gemiddelde snelheid als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).



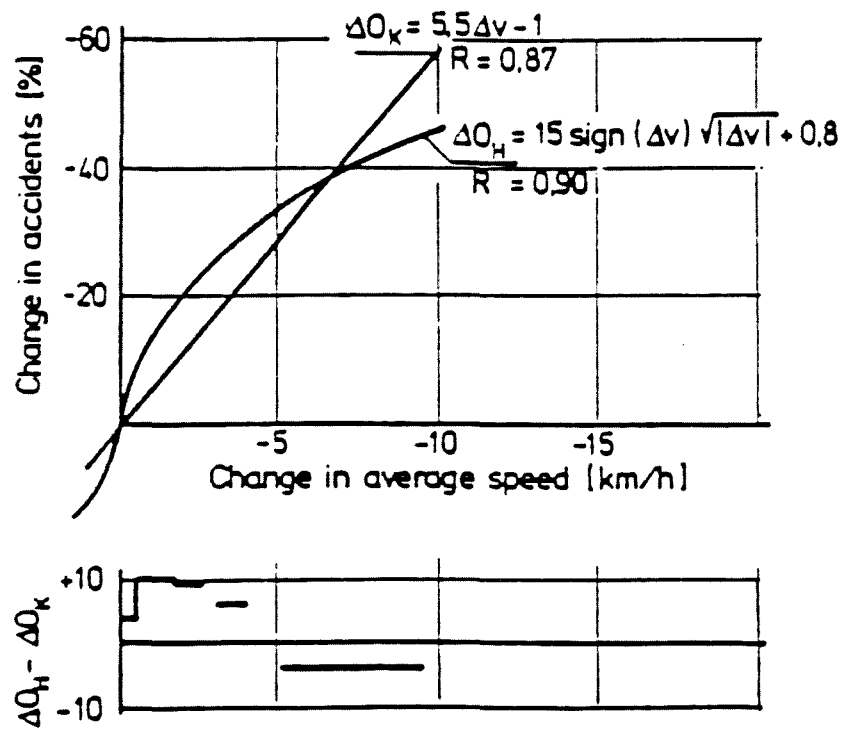
Afbeelding 8. De verandering in de 85ste-percentielsnelheden als een functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).



Afbeelding 9. De verandering in standaardafwijking van de rij snelheden als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).



Afbeelding 10. De verandering in het totale aantal ongevallen (figuur links) en het aantal ongevallen met overleden of gewonde slachtoffers (figuur rechts) als functie van het relatieve niveau van de limieten (Bron: Salusjärvi, 1990).



Afbeelding 11. De verandering in het totale aantal ongevallen (lineaire fit) en in de aantallen ongevallen met dodelijke afloop en letselongevallen (niet lineaire fit) als functie van veranderingen in gemiddelde snelheid (Bron: Salusjärvi, 1990).

Bijlage 1. Kwantitatieve relaties en modellen

1. Snelheidsverandering tijdens de crash en overlijdensrisico

Een veel gebruikte kwantitatieve maat voor de botsermst is de snelheidsverandering Δv van het voertuig tijdens de crash. In een recent artikel gaat Joksch (1993) in op de kwantitatieve relatie tussen snelheidsverandering en overlijdensrisico. Gegevens over uitkomst (overleven of overlijden) en schattingen van snelheidsveranderingen tijdens de crash, afkomstig uit het 'National Accident Sampling System', zijn door deze onderzoeker gebruikt om de kwantitatieve relatie tussen overlijdensrisico en snelheidsverandering te specificeren. Dit levert de volgende relatie op:

$$\text{overlijdensrisico} = \left(\frac{\Delta v}{70.6} \right)^{3.88}$$

Voor een groot aantal ongevallen is Δv niet bekend. Het betreft hier de minder ernstige ongevallen waarover geen gedetailleerde toetsen zijn uitgevoerd, of ongevallen waarbij Δv niet bepaald kon worden vanwege de aard van de schade aan het voertuig. De uitsluiting van deze ongevallen zou een vertekening opgeleverd kunnen hebben in het schatten van de relatie tussen snelheidsverandering en overlijdensrisico. Joksch bepaalde daarom schattingen van de ontbrekende waarden van Δv . De eerste schattingsmethode die hij hanteert, is erg simpel. Er wordt verondersteld dat voor een gegeven snelheidslimiet Δv voor ongevallen met een ontbrekende waarde dezelfde verdeling heeft als voor die ongevallen waarbij Δv bekend is. De ongevallen onder Δv worden dan waarden voor Δv toegekend in overeenstemming met de verdeling van de bekende Δv voor dezelfde snelheidslimiet. De kwantitatieve relatie tussen Δv en overlijdensrisico wordt nu:

$$\text{overlijdensrisico} = \left(\frac{\Delta v}{83.4} \right)^{3.95}$$

In een tweede schattingsmethode wordt meer rekening gehouden met de relaties tussen risico en snelheidslimiet. 'The second approach is based on a closer examination of the relations between risk and speed limit. For instance, at the 55 mph speed limit the risk for the cases without Δv is about halfway between the risks at 55 mph and at 50 mph for the cases with Δv . This suggests that the cases without Δv have lower Δv than those with Δv . To account for this, each case without Δv is distributed half over the distribution of the known Δv at 55 mph, and half over the distribution of the known Δv at 50 mph. Similarly, cases at speed limits 50, 45, and 40 mph are distributed over the known distributions for 45 and 50, 40 and 45, and 35 and 40 mph, respectively. Cases with speed limits of 35 and 30 mph are assigned the distributions for 30 and 25 mph, respectively. Cases at 25 mph are assigned the distribution for 25 mph, but each surviving driver is counted twice. This approach involves much subjective judgment and should be considered speculative (Joksch, 1993; p. 103). Op grond van aldus berekende schattingen komt de onderzoeker uit op de volgende relatie:

$$\text{overlijdensrisico} = \left(\frac{\Delta v}{81.7} \right)^{4.08}$$

De onderzoeker concludeert dat geen van de exponenten genoemd onder 1 t/m 3 significant afwijkt van 4. Als vuistregel kan gesteld worden dat exponent 4 de relatie tussen overlijdensrisico en snelheidsverandering tijdens de crash redelijk weerspiegelt.

2. Kwantitatieve modellen van aantallen inhaalmanoeuvres per afgelegde afstand

Hauer formuleert een kwantitatief model van het aantal inhaalmanoeuvres dat een voertuig meemaakt per afgelegde afstand. De formule is:

$$\lambda(v_0) = \alpha \left[\int_0^{v_0} \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right) dF(v) + \int_{v_0}^{\infty} \left(\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v} \right) dF(v) \right].$$

waarbij:

α = verkeersintensiteit op de snelweg (voertuigen/tijd);

v_0 = de snelheid van het voertuig dat inhaalt of ingehaald wordt;

$F(v)$ = de waarschijnlijkheid dat de snelheid van een random geselecteerd voertuig van alle voertuigen die een zeker punt op de snelweg passeren, lager is dan v ;

$\lambda(v_0)$ = het totale aantal inhaalmanoeuvres dat het referentievoertuig meemaakt (zowel actieve als passieve) per eenheid afgelegde afstand.

Dit model berust op de (simpele) veronderstelling dat elke bestuurder een bepaalde snelheid kiest die hij of zij voor de rest van de rit aanhoudt.

De reductie in de theoretisch berekend aantal actieve inhaalmanoeuvres per afgelegde afstand en per tijdeenheid als gevolg van een bovenlimiet wordt gegeven door de formule:

$$L^+ - \hat{L}^+ = \alpha \int_v^{\infty} [\lambda^+(v_0) - \lambda^+(v)] dF(v_0).$$

De reductie in de theoretisch berekend aantal actieve inhaalmanoeuvres per afgelegde afstand en per tijdeenheid als gevolg van een onderlimiet wordt gegeven door de formule:

$$L^+ - \underline{L}^+ = \int_0^v \alpha \lambda^+(v_0) dF(v_0) + \alpha \lambda^+(v) [1 - F(v)].$$

waarbij:

$\lambda^+(v_0)$ = het gemiddeld aantal actieve inhaalmanoeuvres dat een bestuurder met rijnsnelheid v_0 meemaakt per eenheid afgelegde afstand (gegeven een zekere waarschijnlijkheidsverdeling van snelheden van bestuurders op dat weggedeelte);

v = bovenlimiet;

v = benedenlimiet

L^+ = het totale aantal actieve inhaalmanoeuvres op een eenheid weglengte per eenheid tijd

\hat{L}^+ = het totale aantal bij de instelling van een bovenlimiet te verwachten actieve inhaalmanoeuvres op een eenheid weglengte per eenheid tijd