

Modellen voor ontwikkelingen in verkeer en verkeersveiligheid

Aanbevelingen voor onderzoek in Nederland volgend uit het Europese
COST-programma

R-99-29
Drs. S. Oppe
Leidschendam, 1999
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-99-29
Titel: Modellen voor ontwikkelingen in verkeer en verkeersveiligheid
Ondertitel: Aanbevelingen voor onderzoek in Nederland volgend uit het Europese COST-programma
Auteur(s): Drs. S. Oppe
Onderzoeksmanager: Ir. F.C.M. Wegman
Projectnummer SWOV: 69.541
Projectcode opdrachtgever: PRDVL 98.092
Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Trefwoord(en): Safety, statistics, information documentation, accident, data bank, Europe, mathematical model.

Projectinhoud: In het kader van het COST-programma van de Europese Commissie heeft een vergelijkend onderzoek plaatsgevonden naar de bruikbaarheid van diverse methoden van onderzoek voor het beschrijven, verklaren en voorspellen van ontwikkelingen in het verkeer en de verkeersveiligheid.
Dit rapport geeft een kort overzicht van de gebruikte methoden in diverse landen, en geeft aan wat de belangrijkste toepassingsmogelijkheden zijn van de technieken voor onderzoek en beleid in Nederland.

Aantal pagina's: 26 blz.
Prijs: f 17,50
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1999

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Samenvatting

In het kader van het COST-programma van de Europese Commissie heeft een vergelijkend onderzoek plaatsgevonden naar de bruikbaarheid van diverse methoden van onderzoek voor het beschrijven en verklaren van ontwikkelingen in het verkeer en de verkeersveiligheid, en het daaruit afleiden van prognoses voor komende ontwikkelingen. De bevindingen van deze COST-329-Action 'Models for traffic and traffic safety developments and interventions' zijn neergelegd in een eindrapport (COST-329 Guidelines). Een aantal van de belangrijkste bijdragen is neergelegd in een apart document (COST-329 Reader).

Er wordt in het onderhavige rapport een kort overzicht gegeven van de gebruikte methoden in diverse landen. Verder wordt aangegeven wat de belangrijkste toepassingsmogelijkheden zijn van de technieken voor onderzoek en beleid. Het betreft de volgende beleidsdoelen:

- de monitoring van verkeers- en verkeersveiligheidsontwikkelingen;
- het maken van prognoses van deze ontwikkelingen om te komen tot realistische taakstellingen;
- het uitvoeren van internationale vergelijkingen van deze ontwikkelingen;
- het beschrijven van de belangrijkste invloedsfactoren;
- het geven van verklaringen van de ontwikkelingen; en
- het vaststellen van de invloed van beleidsinterventies.

Behalve aan de modellering van gegevens en de bruikbaarheid van statistische methoden en technieken voor het beschrijven en verklaren van ontwikkelingen, wordt aandacht gegeven aan de beschikbaarheid en bruikbaarheid van gegevens, de eisen die daaraan gesteld worden en de mogelijkheden van gebruik van gegevens die niet aan deze eisen voldoen. Er worden enige voorbeelden gegeven van het gebruik van beschikbare methoden voor verschillende toepassingsgebieden. Tenslotte worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek in Nederland, in het bijzonder voor onderzoek dat in het kader van het SWOV-onderzoeksprogramma kan worden uitgevoerd.

Summary

Models for developments in traffic and road safety

Within the framework of the COST-programme of the European Commission, a comparative study was carried out into the usefulness of various research methods for describing and explaining developments in traffic and road safety; together with the thus derived prognoses for future developments. The results of this COST-329-Action 'Models for traffic and traffic safety developments and interventions' can be found in a final report (COST-329 Guidelines). Some of the most important contributions have been reported in a separate document (COST-329 Reader).

In the present report, a brief overview is given of the methods used in various countries. The most important application possibilities of the techniques for research and policy-making are also given. They concern the following policy goals

- monitoring the traffic and road safety developments;
- making prognoses of these developments to arrive at realistic task targets;
- conducting international comparisons of these developments;
- describing the most important factors of influence;
- giving explanations of the developments; and
- establishing the influence of policy interventions.

Attention is paid to data modelling and the usefulness of statistical methods and techniques for describing and explaining developments. It is also paid to the availability and usefulness of data, the demands to be made of them, and the possibilities of using data that does not meet these demands. A number of examples are given of the use of available methods for various areas of application. Finally, recommendations are made for further research in the Netherlands, and in particular, those studies that can be conducted within the framework of the SWOV research programme.

Inhoud

Lijst van gebruikte afkortingen	6
1. Inleiding	7
2. Relevantie van het onderzoek	9
3. Gewenste en beschikbare gegevens	12
4. Enige voorbeelden van toegepaste modellen	13
4.1. Het ARIMA-model	13
4.2. Het TAG-model	14
4.3. Het TRULS-model	16
5. Discussie	19
6. Aanbevelingen voor onderzoek in Nederland	21
7. Mogelijke uitwerkingen binnen het SWOV-onderzoek	23
Literatuur	26

Lijst van gebruikte afkortingen

ARIMA: Auto Regressive Integrated Moving Average. Een zeer veel gebruikte techniek voor tijdreeksanalyse, waarbij op grond van relaties tussen elkaar opvolgende metingen voorspellingen worden gedaan van toekomstige uitkomsten.

AVV/BG: Adviesdienst Verkeer en Vervoer, afdeling Basisgegevens.

CANALS, HOMALS, OVERALS, DYNAMALS: Technieken voor multivariate analyse, voor gegevens waarvan het schaalniveau nominaal, ordinaal of metrisch is.

CANALS: Canonical ANalysis with Alternating Least Squares

HOMALS: HOMogeneity analysis with Alternating Least Squares

DYNAMALS: linear DYNAMical systems with alternating least squares

CARE: Centrale database op het gebied van transport van de Europese Commissie (DG 7).

COST: Samenwerkingsprogramma van de Europese Commissie, waarbij onderzoekers een platform wordt geboden voor de uitwisseling van onderzoeksgegevens en resultaten.

DRAG, TAG, TRULS: Geavanceerde analyseprogramma's voor regressie-analyse van verkeersveiligheidsgegevens; de basis (DRAG) is ontwikkeld door M. Gaudry en toegepast in diverse landen, o.a. in Frankrijk (TAG) en Noorwegen (TRULS). Het zijn geen tijdreeksanalysemodellen in de strikte zin, maar wel kunnen tijdreeksen worden geanalyseerd.

DRAG: Demand for Road use, Accidents and their Gravity;

TAG: Traffic, Accident and Gravity;

TRULS: Noors acroniem voor 'verkeersongevallen met letselschade'.

Harvey-model: gestructureerde wijze van tijdreeksanalyse, waarbij de effecten van diverse ontwikkelingen, trends of maatregelen (zoals seizoensinvloeden en interventies op het gebied van verkeer of verkeersveiligheid) gescheiden in beeld kunnen worden gebracht.

SWOV: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

1. Inleiding

Het verkeersveiligheidsbeleid is de laatste jaren sterk veranderd van een reactief in een preventief beleid. Dit uit zich onder meer in de kwantitatieve doelstelling van uiteindelijk 50% minder doden en 40% minder gewonden in het jaar 2010 ten opzichte van 1986. Een tweede belangrijke stap in die richting is het formuleren van een beleid dat is gericht op het ontwikkelen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem.

Dit nieuwe beleid gaat gepaard met een behoefte aan meer inzicht in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid. Om realistische doelstellingen te kunnen formuleren en veiligheidsprogramma's te ontwikkelen die deze doelstellingen moeten realiseren, is het nodig om ontwikkelingen in de verkeersveiligheid te beschrijven. Ook is een beschrijving nodig van de ontwikkelingen van de belangrijkste factoren die daarop van invloed zijn, zoals het verkeer en de verdeling van het verkeer over de diverse vervoerwijzen en wegen, de demografische en economische ontwikkelingen en de toepassing van verkeersveiligheidsmaatregelen.

Eenzijds is deze beschrijving nodig om de ontwikkelingen te volgen en onverwachte tendensen te signaleren, zoals bij de monitoringprogramma's die ontwikkeld worden voor het volgen en evalueren van maatregelen in het kader van het project 'Duurzaam Veilig'. Anderzijds dienen deze ontwikkelingen als referentie voor het evalueren van genomen maatregelen. Bij zo'n evaluatie kunnen op deze manier schijneffecten, die aan andere factoren moeten worden toegeschreven, worden opgespoord of kunnen tegenvallende resultaten worden verklaard. Daarnaast wordt gezocht naar verklaringen van de ontwikkelingen, of naar verschillen in deelontwikkelingen, om effectieve maatregelen te kunnen nemen.

Tenslotte geldt dat de recente ontwikkelingen in de informatica nieuwe mogelijkheden bieden voor registratie en verwerking van gegevens.

Vanaf het begin van de jaren tachtig heeft de SWOV zich beziggehouden met het ontwikkelen van (mathematische) modellen voor tijdreeksanalyse. De nadruk lag daarbij in het begin vooral op de beschrijving van de langere-termijnontwikkeling van de verkeersveiligheid op macroscopisch niveau. In meer recente jaren is de nadruk komen te liggen op de beschrijving van de ontwikkeling van specifieke typen ongevallen en meer verschoven naar de korte en middellange termijn. Daarmee gepaard gaat een behoefte aan meer verklarende dan beschrijvende modellen.

Ook buiten Nederland bestaat er in diverse landen een toegenomen belangstelling voor ontwikkelingen in de verkeersveiligheid en het gebruik van tijdreeksanalysemethoden om deze te beschrijven en te verklaren. Dit heeft geleid tot het formuleren van een Europees samenwerkingsproject in het kader van het COST programma van de EU. Dit programma biedt onderzoekers uit de EU-landen de mogelijkheid tot kennisuitwisseling. In de COST-329 Action 'Models for traffic and traffic safety developments and interventions' vindt een uitgebreide informatie-uitwisseling plaats tussen experts op het gebied van tijdreeksanalyse, toegepast op verkeersveiligheid. Dit betreft zowel vergelijking van gebruikte methoden van onderzoek als de daaruit komende resultaten voor de verkeersveiligheid. Voorbeelden van toepassing van de meest gebruikte methoden zijn binnen COST-329

aan de orde. Het betreft monitoring-technieken op basis van ARIMA-modellering, 'polynomial splines'-technieken, Harvey-modellen, enzovoort, maar ook verklarende modellen zoals de door Gaudry ontwikkelde DRAG-technieken.

Doel van onderhavig rapport is aanbevelingen te doen voor onderzoek en beleid in Nederland, gebaseerd op bovengenoemd COST-onderzoek. Hiertoe wordt in de eerstkomende hoofdstukken eerst een korte beschrijving gegeven van de belangrijkste bevindingen die zijn neergelegd in de zogenaamde 'Guidelines', het eindrapport van de COST-329 Action (COST, 1999a). Vervolgens worden in de laatste twee hoofdstukken aanbevelingen geformuleerd voor onderzoek in Nederland, en een mogelijke uitwerking hiervan in het kader van het onderzoek aan de SWOV.

2. Relevantie van het onderzoek

Het wetenschappelijke doel van de COST-Action was om, door uitwisseling van ervaringen tussen experts op het gebied van tijdreeksanalyse, te komen tot een vergelijking van de diverse methoden voor analyse en de uitkomsten ervan, en het geven van een beschrijving van de voor- en nadelen van elke methode. Daarnaast was het doel om een vergelijking te maken van de ontwikkelingen van de verkeersveiligheid in de diverse landen van de EU die in het project waren vertegenwoordigd. De deelnemende landen waren: België, Denemarken, Duitsland, Engeland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Italië, Nederland, Noorwegen, Polen, Portugal, Spanje, Tsjechië en Zweden.

De oorspronkelijke intentie was om na deze vergelijking te komen tot een keuze voor de methode die als beste uit de vergelijking naar voren kwam. Maar tijdens de uitvoering bleek dat zo'n keuze niet eenvoudig was te maken. Diverse methoden hadden hun specifieke voordelen en nadelen. Deze hingen zowel samen met de doelen waarvoor de methoden werden gebruikt als de beschikbaarheid van de gegevens. Zo bleken deterministische modellen, met weinig parameters, vooral geschikt voor globale prognoses op de langere termijn, terwijl deze modellen voor de korte-termijnprognose tekortschieten. Enerzijds wordt bij het formuleren van dergelijke modellen te weinig informatie gebruikt over tijdelijke veranderingen van de globale trend, die hebben plaatsgevonden in het verkeersproces. Anderzijds wordt bij de prognoses op basis van een dergelijk model geen rekening gehouden met de mogelijkheid van tijdelijke veranderingen van die globale trend in de nabije toekomst.

In een toepassing van de klassieke ARIMA-modellen op Spaanse ongevalgegevens, waarbij in het model een maandelijkse trend is opgenomen, blijkt een verrassend goede beschrijving gemaakt te kunnen worden van de maandelijkse fluctuaties in de ongevallen. Ook de voorspelling voor een jaar vooruit bleek zeer goed mogelijk. De ARIMA-techniek - ARIMA is een acroniem voor Auto Regressive Integrated Moving Average - is niet goed bruikbaar voor het geven van verklaringen. De zogenaamde DRAG-technieken van Gaudry - DRAG staat voor Demand for Road use, Accidents and their Gravity- die zich specifiek richten op het geven van verklaringen met behulp van een groot aantal voorspellers, zijn daarvoor meer geschikt, maar geven geen directe voorspellingen (zie Gaudry, 1984). Wel wordt daarbij aangegeven welke effecten men op de veiligheid mag verwachten als er specifieke veranderingen optreden in bepaalde verklarende grootheden (de zogenaamde elasticiteiten van het model).

Behalve het wetenschappelijke doel stond vooral ook de bruikbaarheid van de technieken voor de praktische verkeersveiligheidsproblemen centraal. In het rapport worden de volgende gebruikersdoelen onderscheiden voor het beschrijven van de ontwikkelingen:

1. het monitoren van ontwikkelingen in de verkeersveiligheid, om waargenomen uitkomsten te vergelijken met veiligheidsdoelstellingen; dit om onverwachte ontwikkelingen en nieuwe aandachtsgebieden op te sporen teneinde daarop gerichte maatregelen te kunnen nemen;

2. het maken van prognoses van toekomstige veiligheidsontwikkelingen, die nodig zijn om realistische taakstellingen te kunnen maken en veiligheidsprogramma's daarop af te stemmen; verder moeten deze ontwikkelingen dienen als referentiebasis voor het schatten van effecten van nieuwe, grootschalige veiligheidsplannen;
3. het maken van internationale vergelijkingen van veiligheidsontwikkelingen, om overeenkomsten en verschillen tussen landen vast te stellen op een geaggregeerd en gedisaggregeerd niveau, om zo tot nationale en internationale maatregelen te komen.

Bij het verklaren van de ontwikkelingen, en in het algemeen het verklaren van de verkeersonveiligheid waarbij gegevens van verschillende tijdstippen een rol spelen, is het nodig om bij de modellering rekening te houden met de tijdsafhankelijkheid van de gegevens. Bij verklaringen in de meest elementaire vorm gaat het om:

4. het vaststellen van te verwachten veiligheidseffecten van de ontwikkeling van de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de verkeersveiligheid, zoals de hoeveelheid verkeer en demografische en economische trends.

Daarnaast spelen zeer veel andere factoren een rol. Bij de modellering is er enerzijds de behoefte om de modellen zo eenvoudig mogelijk te houden (om een betere interpretatie te kunnen geven aan de modelparameters en deze ook stabiel te kunnen schatten), anderzijds wil men van zoveel mogelijk factoren weten welke invloed zij hebben op de verkeersveiligheid. Deze tegenstrijdige behoeften zijn niet specifiek voor de verklaring van ontwikkelingen, maar bestaan in het algemeen bij verklarende modellen voor de verkeersveiligheid. In de DRAG-modellen worden vaak zeer veel factoren tegelijk geanalyseerd. Dit betreft factoren die samenhangen met de bekende trits 'mens, voertuig, weg' en met omstandigheden van weer en verkeer. Tenslotte worden algemene beleidsmaatregelen, maatregelen op het gebied van verkeer en vervoer en verkeersveiligheidsmaatregelen onderzocht op hun consequenties voor de verkeersveiligheid. Door de vele samenhangen die tussen deze factoren bestaan, zowel direct als in hun verklaring van de verkeersveiligheid, is het moeilijk de diverse invloeden van elkaar te scheiden. Ook is de kans groot, vooral bij modellen met veel kenmerken, dat schijnbare effecten worden gevonden die eigenlijk alleen berusten op correlaties met echte verklarende factoren of op toevalsfluctuaties in de geobserveerde grootheden.

Voor de toekomst is met name onderzoek gewenst naar het vinden van een juiste verklaringsstructuur voor de ontwikkelingen in de verkeersveiligheid. Hiervoor lijkt een hiërarchische verklaringsstructuur de meest belovende aanpak. In zo'n hiërarchie wordt eerst gekeken naar verklaringen die te maken hebben met *expositiefactoren*: ontwikkelingen in de verkeersdeelname, de samenstelling van de populatie van verkeersdeelnemers, de veranderingen in 'modal split', de veranderde verdeling over het netwerk, veranderingen in verdeling over de tijd (op uren van de dag en in maanden van het jaar), enzovoort. Vervolgens wordt gekeken naar *invloeden* die uitwerken op het risico per eenheid van expositie (uitgesplitst naar de diverse hiervoor genoemde vormen van expositie), zoals invloeden van het weer (en van klimatologische aard), verandering in de verkeersomgeving

en het verkeersgedrag. Tenslotte in specifieke invloeden op die risico's door specifieke maatregelen. Het gaat daarbij om:

5. het zoeken naar een hiërarchische en stabiele structuur van verklaringen voor de onveiligheid, die gerelateerd zijn aan kenmerken van de mens, het voertuig en de weg, de weers- en verkeersomstandigheden en maatregelen die van invloed zijn op de verkeersveiligheid.

De volgende problematiek is hierbij van belang.

Het is bekend dat het aantal doden D als functie van het aantal motorvoertuigkilometers V en de tijd T een goede beschrijving geeft van het aantal doden over de tijd voor een land: $D=f(V,T)$, bijvoorbeeld $\log(D) = a[\log(V)] + bT + c$. Nu is tijd op zich niet zo'n geschikte verklaring. Liever zouden we die vervangen door factoren als: het percentage autosnelwegkilometers door de tijd, de toename in gemiddelde ervaring van weggebruikers, de toename in de kwaliteit van de infrastructuur, de toename in kwaliteit van de voertuigen, enzovoort. Het probleem is echter dat alle kenmerken die correleren (toenemen of afnemen) met de tijd, zoals het pilgebruik bij vrouwen, het percentage vrouwelijke autobestuurders, enzovoort, een vervangende verklaring voor het tijdseffect kunnen geven als ze in een regressiemodel worden opgenomen. Daarom is het belangrijk om te weten of bijvoorbeeld het risico op een bepaald moment in de tijd verschilt voor de opgenomen variabelen (bijvoorbeeld: het risico voor autosnelwegen is een factor tien lager dan op de overige wegen, het risico voor ervaren weggebruikers is lager dan voor onervaren weggebruikers, enzovoort). Verder zou moeten worden onderzocht of deze risico's tijdsonafhankelijk zijn, en de bijdrage aan het totaal in overeenstemming is met de verwachte bijdrage op grond van de risicoverschillen en de verandering van de aandelen in de verkeersprestatie. Zo mag bijvoorbeeld worden verwacht dat het positieve effect op de veiligheid, dat door Gaudry is gevonden voor het pilgebruik, kan worden toegeschreven aan de correlatie van deze factor met de tijd en niet aan de factor zelf. Dit kan worden gecheckt door na te gaan of in een bepaald jaar vrouwen die de pil gebruiken een lager risico hebben dan vrouwen die de pil niet gebruiken (ceteris paribus).

Juist om dit soort schijnrelaties te voorkomen is het nodig dat een gestructureerde aanpak wordt gebruikt, waarbij checks worden toegepast op de resultaten, voordat een verklarend model wordt vastgesteld.

Een vergelijking van het gestructureerde tijdreeksanalyse model van Harvey (1990) met een regressiemodel zoals van Gaudry zou nuttig kunnen zijn voor het verkrijgen van meer inzicht in deze factoren.

3. Gewenste en beschikbare gegevens

Twee van de beperkende factoren bij dit soort onderzoek zijn de beschikbaarheid en kwaliteit van de gegevens. Dit geldt met name voor het maken van internationale vergelijkingen. In het COST-project is veel aandacht besteed aan deze vergelijkbaarheid. Er is onder andere gekeken naar de consequenties van verschillen in definities voor de uitkomsten van analyses, zoals de 30-dagendefinitie voor het aantal overleden slachtoffers. Gevonden is dat omrekening voor landen met een andere definitie niet met een vaste factor dient te geschieden. In de loop van de tijd is de verhouding van het aantal overledenen naar dag van overlijden veranderd. Omdat in sommige landen gegevens over voertuigprestaties ontbreken, zijn schattingen gemaakt op basis van wel beschikbare gegevens over de verkoop van brandstof. Dit was mogelijk doordat gebruik kon worden gemaakt van in een aantal landen aanwezige informatie over zowel verkoopcijfers voor brandstoffen als over voertuigprestaties. Daardoor kunnen uiteindelijk gewenste vergelijkingen tussen de risico's in verschillende landen toch worden gemaakt. Op een dergelijke wijze kunnen ook schattingen voor ontbrekende Nederlandse gegevens worden gecheckt door vergelijkingen te maken met metingen die in andere landen wel aanwezig zijn, waardoor de kwaliteit van nationale analyses wordt verhoogd. Zo bleek er specifiek voor Nederland een onverklaarbaar verschil te bestaan tussen de schatting van de verkeersprestatie op grond van de verkoopcijfers van brandstof en de directe schatting van de verkeersprestatie zelf. Een gedeelte van deze verklaring werd gevonden in de verkoop van LPG, waarvan het aandeel uniek is voor Nederland. Verdere verklaringsmogelijkheden zijn bijvoorbeeld het tanken bij buitenlandse tankstations (langs de grens), of een overschatting van het aantal voertuigkilometers zelf.

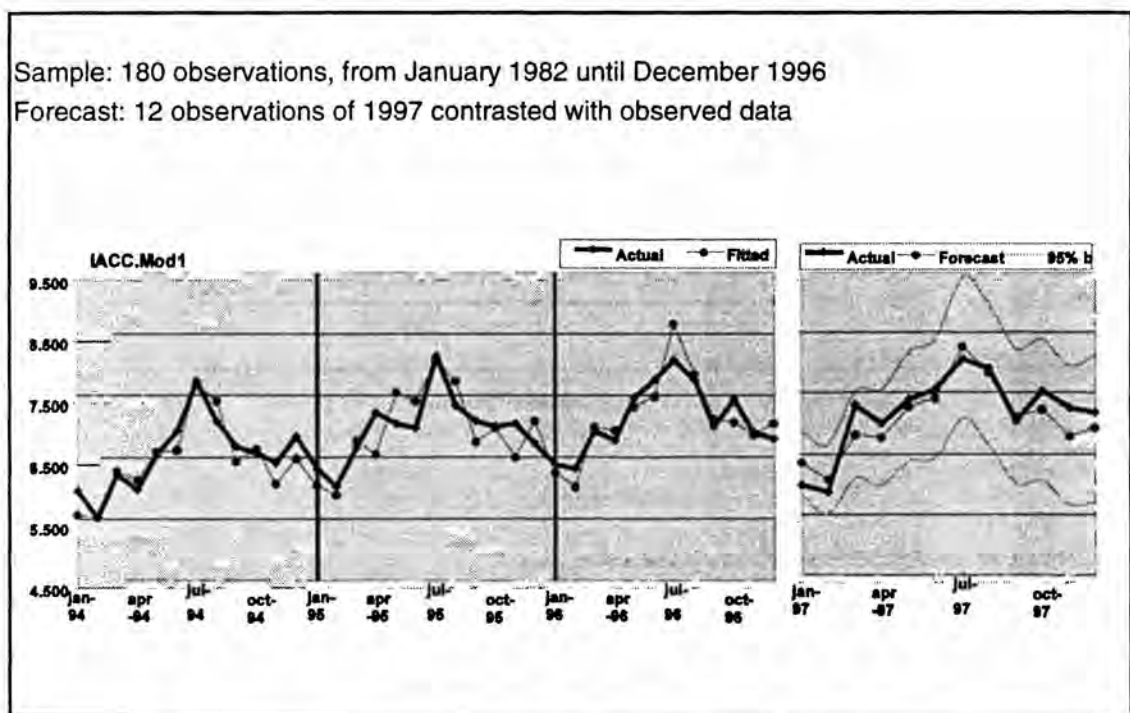
Een aandachtspunt is ook de volledigheid en selectiviteit van de gegevensverzameling. Met name bij analyses die worden toegepast op tijdsafhankelijke gegevens en daarop gebaseerde prognoses is kennis over veranderingen in de registratie een belangrijk gegeven. Uit reeds uitgevoerd onderzoek blijkt dat inderdaad sprake is van selectieve informatie over de verkeersveiligheid en van een veranderd registratieniveau.

Voor een goede afstemming van het gegevensbeheer op de gebruiksbehoeften ervan voor onderzoek is een goede communicatie tussen onderzoek en gegevensverzameling noodzakelijk: welke vragen kunnen wel en niet worden beantwoord met de beschikbare gegevens en welke aanvullende gegevens zijn (minimaal) nodig om additionele vragen te beantwoorden. Dit is zowel binnen Nederland (SWOV/AVV/BG) als op Europees niveau (CARE) van belang.

4. Enige voorbeelden van toegepaste modellen

4.1. Het ARIMA-model

In Spanje is het ARIMA-model toegepast op de maandelijkse gegevens van slachtofferongevallen. Het betreft een ARIMA $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ model. Dit betekent dat bij de analyse zowel een algemene trend (van maand tot maand) is meegenomen als een specifieke seizoentrend (van januari op januari, enzovoort). Verder is het een 'moving average'-model, een model dat wordt toegepast op de maandelijkse verschillen en niet op de aantallen zelf. Dit laatste is gebeurd om te corrigeren voor een lineaire trend in de data.



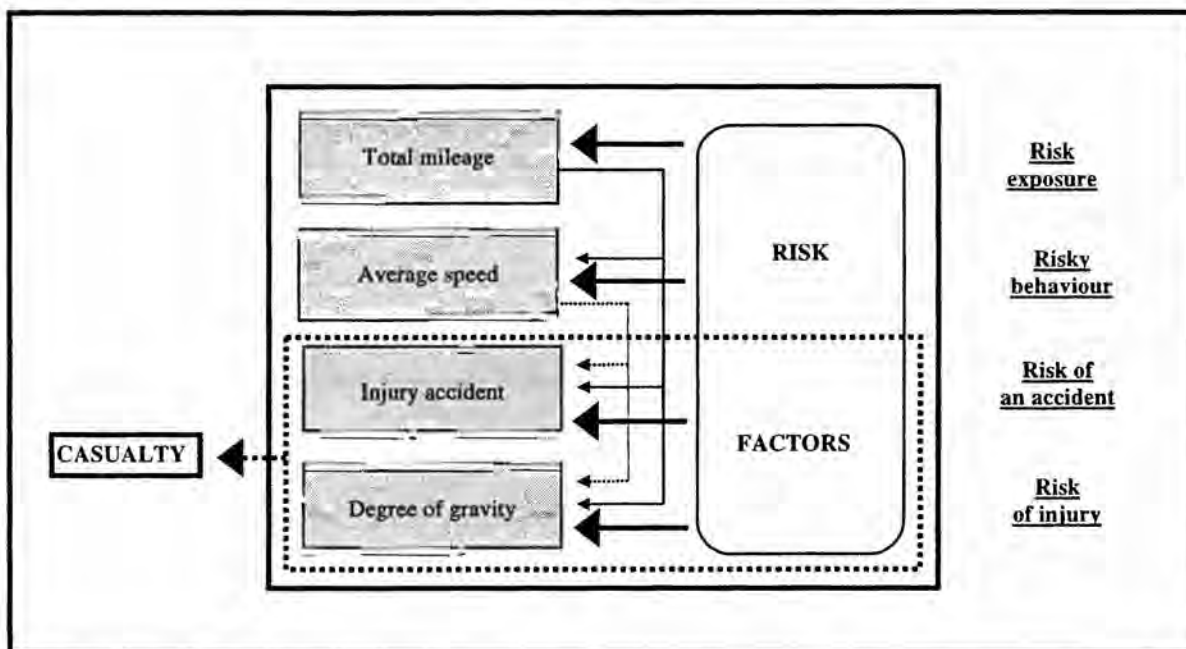
Afbeelding 1. Toepassing van het ARIMA-model $(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ op maandelijkse slachtofferongevallen in Spanje; gefitte waarden voor 1994-1996 en een prognose voor 1997.

Afbeelding 1 laat zien dat het model met een maandelijkse trend de gegevens goed beschrijft, en verder dat de voorspelling voor 1997, op basis van de gegevens uit 1982 t/m 1996 verrassend goed is.

Voor een beschrijving van de trend en een (korte-termijn-)prognose lijkt het model dus heel geschikt. Voor een verklaring van de ontwikkelingen of het aangeven van de onderliggende structuur is het model niet geschikt.

4.2. Het TAG-model

In Frankrijk is het zogenaamde Traffic, Accident and Gravity (TAG) model toegepast. Dit is een toepassing gebaseerd op het DRAG-model van Gaudry (zie Lassarre,1994). De TAG-structuur is bedoeld om de schade van ongevallen (in termen van letsel) te beschrijven als functie van expositie en risicofactoren. *Afbeelding 2* geeft deze structuur weer.



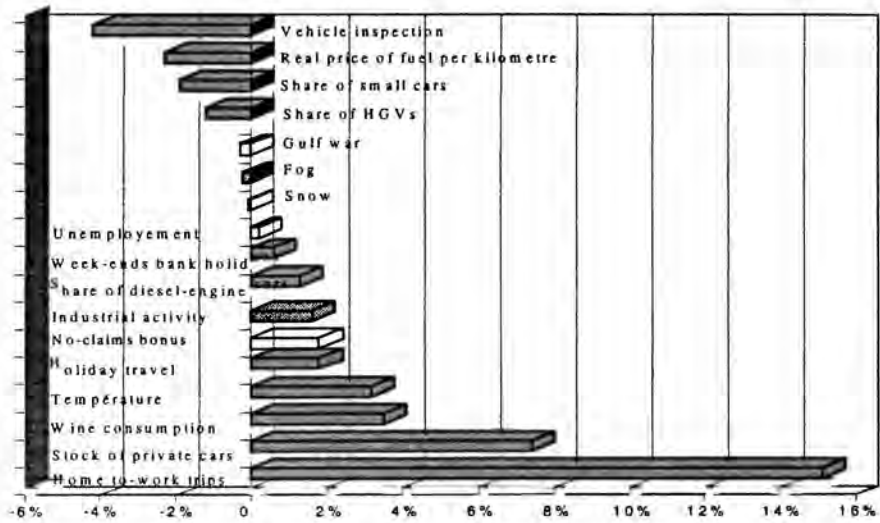
Afbeelding 2. Structuur van het TAG-model, zoals toegepast in Frankrijk

Enige uitkomsten van het TAG-model

In het onderzoek met het TAG-model is onder andere gekeken van welke factoren de totale hoeveelheid verkeer afhankelijk is. Hierbij is een groot aantal factoren in de analyse betrokken. De uitkomsten ervan staan afgebeeld in *Afbeelding 3*. In *Afbeelding 4* zijn vergelijkbare gegevens opgenomen voor de rijsnelheid. In *Afbeelding 5* tenslotte worden de relaties aangegeven voor zowel de ongevallen met gewonden als de dodelijke ongevallen.

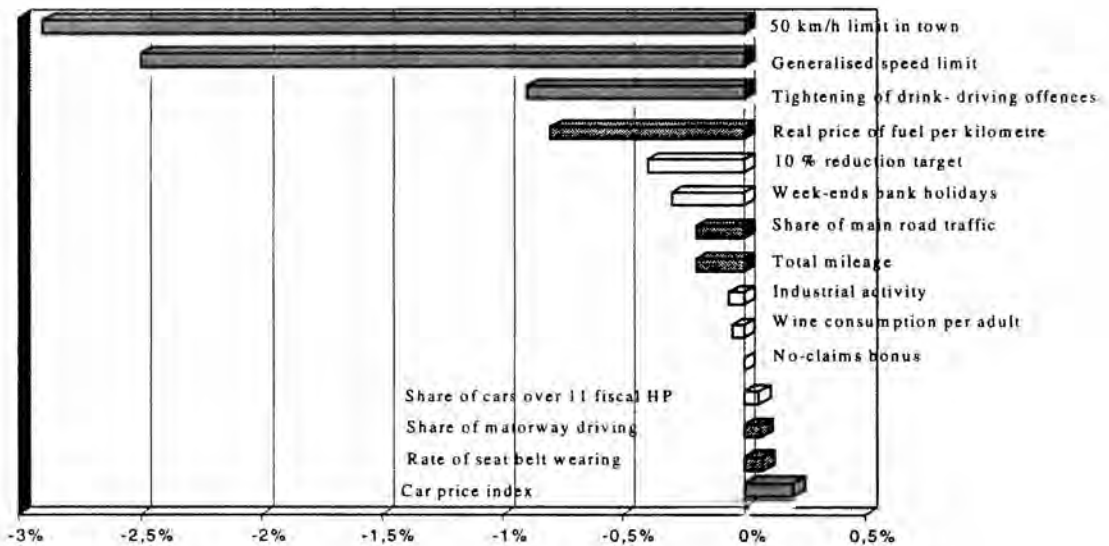
In *Afbeeldingen 3 t/m 5* zijn de zgn. elasticiteiten van de verschillende invloedsfactoren weergegeven op kenmerken van het verkeer en de verkeersveiligheid. De elasticiteit van een invloedsfactor geeft het percentage verandering van een bepaald verkeers- of verkeersveiligheidskenmerk aan, als gevolg van een verandering van 10% van de invloedsfactor.

Voor *Afbeelding 3* betekent bovenstaande dat bij 10% toename van de genoemde grootheden het totale aantal voertuigkilometers per jaar verandert met een percentage dat door de bijbehorende staaf is aangegeven. Effecten die zijn aangegeven met witte staven zijn niet significant.



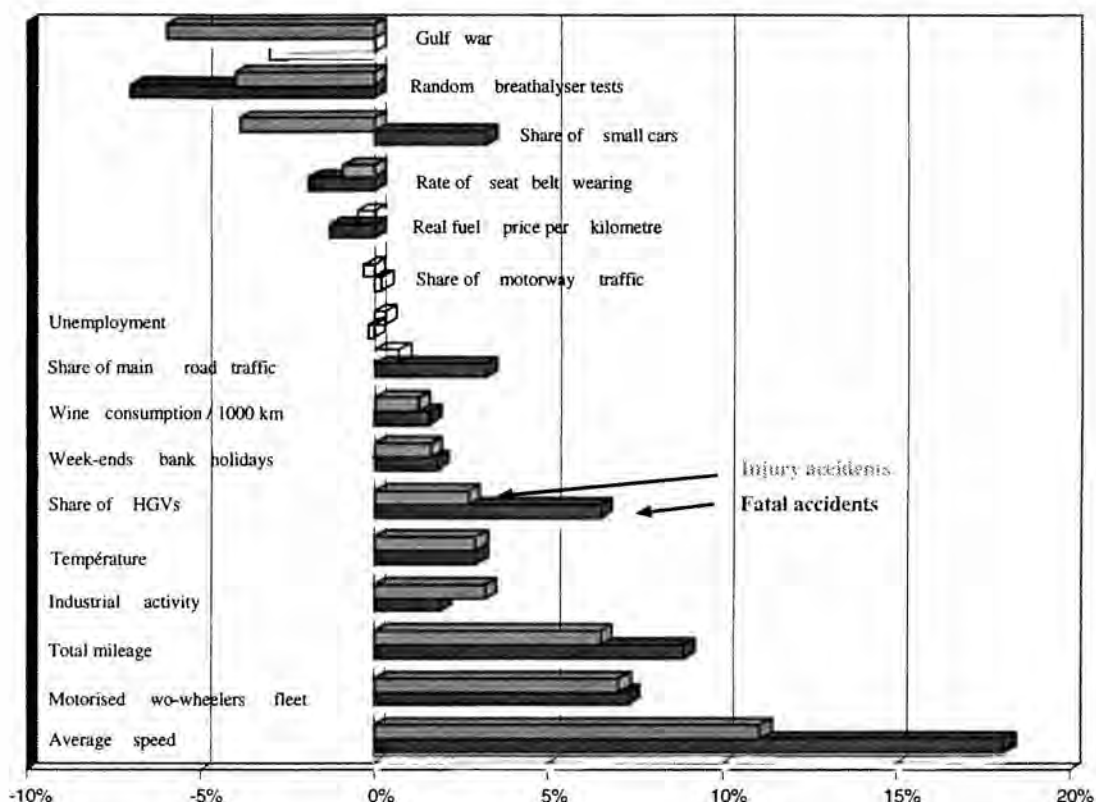
Afbeelding 3. Positieve of negatieve verandering in de verkeersprestatie (aantal voertuigkilometers per jaar) als gevolg van 10% toename van verschillende grootheden.

Voor Afbeelding 4 geldt dat bij een toename van 10% van de genoemde grootheden, de gemiddelde rijnsnelheid per jaar verandert met het door de bijbehorende staaf aangegeven percentage. Effecten die zijn aangegeven met witte staven zijn niet significant.



Afbeelding 4. Positieve of negatieve verandering van de gemiddelde rijnsnelheid per jaar bij 10% toename van verschillende grootheden.

Voor *Afbeelding 5* geldt dat bij een toename van 10% van de genoemde grootheden het totale aantal doden en gewonden per jaar verandert met het percentage dat door de bijbehorende staaf is aangegeven. Effecten die zijn aangegeven met witte staven zijn niet significant.

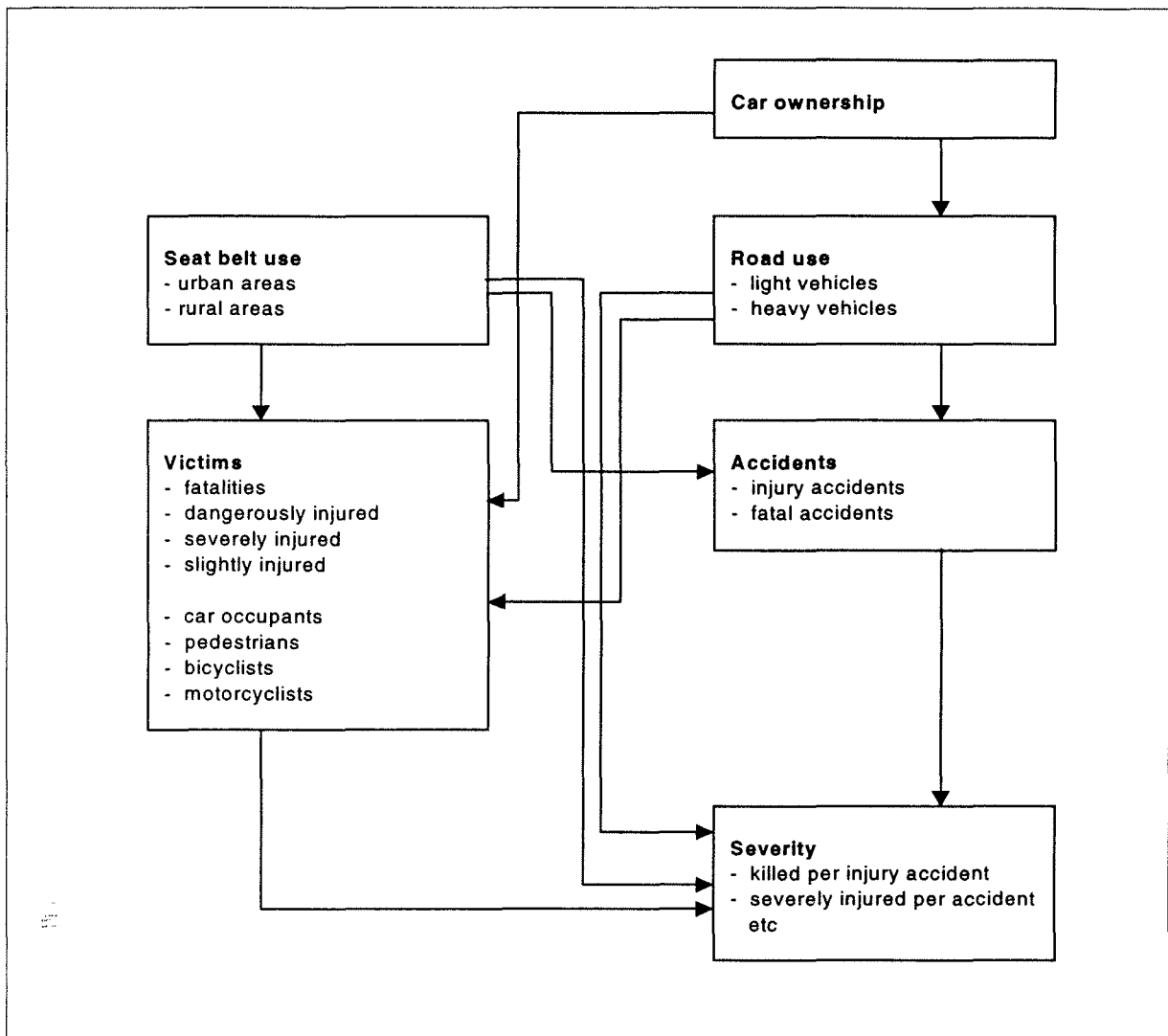


Afbeelding 5. Positieve of negatieve verandering in het aantal ongevallen met doden respectievelijk gewonden, bij een toename van 10% van verschillende grootheden.

4.3. Het TRULS-model

Het TRULS-model is een tweede variant op het DRAG-model van Gaudry. TRULS is een afkorting van 'verkeersongevallen met letselschade' in het Noors. Het TRULS-model is toegepast op gepoolde, cross-sectionele tijdreeksen van maandelijkse gegevens van 19 provincies in Noorwegen, van januari 1973 tot en met december 1994.

Ook in het TRULS-model wordt een verklaring gegeven van de veranderingen in de hoeveelheid verkeer, het aantal letselongevallen en de letselernst. In het schema van *Afbeelding 6* zijn de relaties tussen diverse groepen van afhankelijke kenmerken aangegeven.



Afbeelding 6. Afhankelijke variabelen in het TRULS-model.

De onafhankelijke variabelen, die bij de groepen verklarende variabelen uit *Afbeelding 6* zijn gekozen, zijn weergegeven in *Tabel 1*.

Voor een beschrijving van de resultaten wordt verwezen naar de (nog te verschijnen) reader van het COST-project (COST, 1999b) en naar Fridstrøm (1998).

Independent variable	Direct effect upon					
	Car ownership	Vehicle kilometers	Seat belt use	Accidents	Victims	Severity
Infrastructure	X	X		X	X	X
Road maintenance				X	X	X
Public transportation	X	X		X	X	X
Population	X	X		X	X	X
Income	X	X				
Prices	X	X				
Interest rates	X					
Taxes	X	X				
Vehicle characteristics		X	X	X	X	X
Daylight		X		X	X	X
Weather conditions		X		X	X	X
Calendar effects		X		X	X	X
Geographic characteristics	X	X	X	X	X	X
Legislation			X	X	X	X
Fines and penalties			X			
Access to alcohol				X	X	X
Information		X	X			
Reporting routines				X	X	X
Randomness and measurement errors		X	X	X	X	X

Tabel 1. Verklarende kenmerken voor de afhankelijke variabelen van Afbeelding 6.

5. Discussie

Er blijkt in toenemende mate behoefte te bestaan aan modellen voor het monitoren, verklaren en evalueren van verkeers- en verkeersveiligheidsontwikkelingen. Veel kennis over de bruikbaarheid van diverse methoden is opgedaan door de uitkomsten hiervan te vergelijken en de verschillen in uitkomsten te interpreteren. Verder zijn de voor- en nadelen van de diverse modellen tegen elkaar afgezet, evenals de verschillende toepassingsdoel-einden. De conclusie is dat er een aantal methoden beschikbaar zijn voor specifieke doeleinden.

Binnen het COST-project is overigens nog een discussie gaande over de toepassing van modellen voor lange-termijnprognoses. Het centrale punt daarbij is in hoeverre bijvoorbeeld eenvoudige continue functies kunnen worden gebruikt om de risico-ontwikkeling weer te geven, en in hoeverre rekening moet worden gehouden met discontinuïteiten in deze ontwikkeling (bijvoorbeeld als gevolg van ingrijpende maatregelen). Bij de benadering met gebruik van een continue functie speelt op de achtergrond de opvatting dat deze discontinuïteiten wel bestaan, maar onderdeel zijn van een veel groter proces van risicovermindering. Hierbij gelden ook adaptatie-effecten: als op een bepaald moment een groot effect is bereikt, zal in de toekomst wellicht sprake kunnen zijn van een minder grote inspanning; de discontinuïteiten bewegen zich rond een algemene trend. Deze algemene trend geeft op termijn een betere voorspelling. Het probleem met de modellering van stapsgewijze discontinuïteiten is verder, dat niet is te voorzien wanneer welke stappen in de toekomst plaats zullen vinden. Zo zal een model, waarbij bijvoorbeeld een exponentiële daling met een vast dalingspercentage en daaraan toegevoegd een aantal continue stappen wordt verwacht, een onderschatting van het risico in de toekomst tot gevolg hebben als er niet voorzien is in extra stappen in die toekomst. Een model waarbij uitsluitend een exponentiële risicodaling zonder stappen wordt verondersteld zal dit probleem niet kennen. Het stappenmodel zal overigens wel een betere beschrijving geven van de geobserveerde ontwikkeling en een betere voorspelling op de korte termijn.

Er zijn diverse methoden beschikbaar die kunnen worden gebruikt om (korte-termijn-)veranderingen van trends in ontwikkelingen zichtbaar te maken. In het algemeen kunnen 'polynomial splines'-technieken snel indicaties hiervoor zichtbaar maken. Vooral de in Denemarken ontwikkelde variant, waarbij de polynomial spline-techniek wordt toegepast om effecten van interventies op te sporen, kan worden gebruikt om te toetsen of deze veranderingen in trend significant zijn (Bang Pedersen, 1998).

Als sprake is van maandelijkse gegevens dan blijkt de ARIMA-methode goed bruikbaar voor het aangeven van deze trend, tezamen met een korte-termijnprognose. Toch lijken vooral de structuurmodellen zoals door Harvey (1990) ontwikkeld, al gauw meer geschikt voor het meer in detail beschrijven van dergelijke ontwikkelingen, vooral als men een meer ingewikkelde structuur veronderstelt. Ook kunnen verklarende variabelen hierin beter worden ondergebracht.

De grootste problemen doen zich echter voor bij de keuze van verklarende modellen en bij de modellen voor gedisaggregeerde gegevens.

Als het gaat om grote aantallen verklarende kenmerken, dan liggen regressiemodellen zoals de DRAG-modellen meer voor de hand. Maar ook

daarvoor bestaan alternatieven, zoals de regressietechnieken voor kwalitatieve gegevens met behulp van HOMALS, CANALS, OVERALS (Gifi, 1990), die onder andere door de SWOV zijn toegepast (Oppe, 1991) en vergeleken met de populaire log-lineaire analysemodellen zoals GLIM (Nelder & Wedderburn, 1972). Deze technieken hebben het voordeel dat meer inzicht wordt gegeven in de optimale transformaties van variabelen. Een ander voordeel is dat de onderliggende verklaringsstructuur beter inzichtelijk kan worden gemaakt. Het grote voordeel van de DRAG-modellen is dat de statistische eigenschappen van de schatters zijn gedefinieerd. Hierdoor kan direct getoetst worden en kunnen betrouwbaarheidsgrenzen worden aangegeven, terwijl toch vrij flexibele Box-Cox-transformaties van de kenmerken mogelijk zijn (Box & Cox, 1964).

Vooraf de analyse van gedissaggregeerde gegevens staat nog in de kinderschoenen. In een speciale werkgroep binnen de COST Action die hierop gericht was, bleek dat eigenlijk alleen Nederland over voldoende gegevens op gedissaggregeerd niveau beschikte om tijdreeksanalyses mogelijk te maken, zij het dat ook in ons land geschikte expositiegegevens naar wegtype ontbreken. Wel zijn er ook in andere landen een aantal analyses uitgevoerd op gedissaggregeerde gegevens, maar dan betreft het uitsluitend disaggregatie van de ongevalgegevens, zonder dat daarbij ook expositiegegevens aanwezig zijn.

Door de samenwerking en vergelijking van analysetechnieken en de toepassing daarvan op gegevens van diverse landen, is meer inzicht verkregen in de kwaliteiten van de technieken en de toepassingsmogelijkheden ervan. Daarnaast is ook duidelijker geworden welke problemen nog om een oplossing vragen en welk onderzoek nog nodig is.

6. Aanbevelingen voor onderzoek in Nederland

Bij het onderzoek naar modellen voor ontwikkelingen in de verkeersveiligheid gaat het zowel om methodische ontwikkeling, als om het toepassen van deze modellen op concrete problemen. Het gaat daarbij dus niet alleen om zuiver instrumenteel ontwikkelingsonderzoek. De ervaringen in de COST-activiteit lieten telkens zien dat met name de vraagstelling en de aanwezigheid van gegevens een belangrijke rol speelden bij de keuze van de technieken. Daarom is het van belang om vanaf het begin de prioriteit te leggen bij het zoeken van oplossingen voor bestaande verkeersveiligheidsvragen en pas in tweede instantie bij het bepalen van de wijze van oplossing en de daarbij benodigde techniek. Op deze wijze wordt de behoefte aan gegevens in relatie tot de vraagstukken die een oplossing vragen duidelijk. Nu beperkt zich die behoefte vaak tot een algemene roep om meer gegevens.

Het verdient aanbeveling om vanaf het begin zowel een verklaringsmodel op te stellen, als de modellering voor de monitoring van de verkeersveiligheid en de disaggregatie daarin verder te ontwikkelen. Voor beide dienen concrete problemen en hun oplossing uitgangspunt te zijn. Om ook vruchtbare toepassing te garanderen zou daarbij het best kunnen worden aangesloten bij concrete vragen die gesteld worden binnen de uitvoering van 'Duurzaam Veilig'. Deze betreffen dan zowel de monitoring als de evaluatie van maatregelen, waarbij de verklaring van effecten centraal staat. Hierbij kan worden voortgebouwd op de resultaten van de projecten uit het OJP 1998 ('Ontwikkeling van de verkeersveiligheid' en 'Monitoring Duurzaam Veilig'), waarvan de onderliggende technieken ook uitvoerig zijn toegepast en verder ontwikkeld binnen het COST-project.

De modellering ten behoeve van de *monitoring* kan plaatsvinden op basis van de reeds bestaande SWOV-modellen voor gedisaggregeerde gegevens, die zijn gebaseerd op de structuurmodellen van Harvey. Een belangrijk element bij de verdere uitwerking van deze modellen is de wijze waarop de expositie van interactieve groepen verkeersdeelnemers (bijvoorbeeld snelverkeer en langzaam verkeer) wordt gemodelleerd. Al sinds een aantal jaren is de sterke behoefte daaraan geuit. Juist met de gestructureerde aanpak die nu is gekozen, lijkt er meer uitzicht te bestaan op een acceptabele oplossing van dat probleem. Daarnaast zou ook aandacht kunnen worden besteed aan een alternatieve, in feite simpeler benadering, zoals deze bijvoorbeeld in Spanje is toegepast met ARIMA-modellen. Er zou dan een vergelijking van de voorspellingen uit beide modellen kunnen worden gemaakt.

Bij de ontwikkeling van *verklarende modellen* zou in eerste instantie (voor de verklaring in de meest elementaire kenmerken) gekozen kunnen worden voor hetzelfde type Harvey-model. Daarnaast lijkt toepassing van het DRAG-model een veelbelovende oplossingsrichting voor meer gecompliceerde gegevensstructuren. Het lijkt daarom goed om naast de ontwikkeling van het Harvey-model direct al te beginnen met het toepassen van het DRAG-model en een variant van de eerder genoemde CANALS-techniek voor tijdreeksanalyse (DYNAMALS genaamd) op dezelfde vragen. De uitkomsten van deze technieken kunnen dan worden vergeleken.

Het Harvey-model, het DRAG-model en het DYNAMALS-model gaan uit van zeer verschillende aannamen over de verklaringsstructuur. De eerste en laatste benadering gaan (evenals de ARIMA-modellen) ervan uit dat het verkeerssysteem, met zijn veiligheidsaspecten, zich ontwikkelt in de tijd en dat het mogelijk is om met de gegevens van het verleden en met de in het model vastgestelde tijdsafhankelijke parameters, direct te voorspellen hoe een bepaald systeem er in de (nabije) toekomst uit zal zien.

Bovenstaande geldt niet voor de DRAG-modellen. Daarin speelt de tijd slechts een rol als index, om de metingen op diverse tijdstippen aan elkaar te kunnen relateren. Om vanuit het verklaringsmodel te kunnen voorspellen is het nodig om de ontwikkelingen van de verklarende kenmerken in de toekomst te kennen (of te voorspellen) om daaruit vervolgens de consequenties af te leiden voor de verkeersveiligheid. Deze prognoses vinden dan ook plaats in termen van 'elasticiteiten' van verklarende variabelen. Bijvoorbeeld: een verandering van het fietsgebruik met 10 % zal een verandering van het aantal fietsongevallen met $a \times 10 \%$ tot gevolg hebben, waarbij a zowel positief als negatief kan zijn (zie o.a. het eerder beschreven TAG-model).

Toepassing van deze, op dit moment meest belovende, technieken met hun geheel verschillende benadering geeft enerzijds meer inzicht in de verklaringsstructuur van het probleem en anderzijds meer inzicht in de technieken en hun bruikbaarheid. Ook voorkomt een dergelijke benadering een zekere starheid in aanpak.

7. Mogelijke uitwerkingen binnen het SWOV-onderzoek

Nader onderzoek op het gebied van verkeersveiligheidsmodellen kan binnen de SWOV worden gegroepeerd en uitgewerkt in de volgende concrete activiteiten.

Jaaranalyse en jaarverslag

De SWOV maakt al jaren een analyse van de verkeersveiligheid op jaarbasis. Deze analyse wordt vooral gekenmerkt door het geven van verklaringen voor zichtbare veranderingen in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid op de belangrijkste indicatoren. Deze indicatoren betreffen de voornaamste disaggregaties, zoals ontwikkelingen binnen leeftijdsgroepen en vervoerwijzen. In beperkte mate wordt ook aandacht besteed aan uitsplitsing naar type weg en weersgesteldheid. Daarnaast is het vooral van belang om aan maatregelen gerelateerde ontwikkelingen te volgen, zoals snelheid, gordelgebruik en alcohol.

Vanuit de ervaringen met deze wijze van jaaranalyse is vaak de behoefte geuit aan een meer gestructureerde benadering waarin ook sprake is van continuïteit. Dit vraagt een planmatige benadering, waarin deels volgens een standaardmethode wordt gewerkt en systematisch wordt gekeken naar belangrijke indicatoren. De door de SWOV ontwikkelde verkeersveiligheidsmonitor, die is gebaseerd op het gestructureerde model van Harvey, is een uitstekend instrument voor het leveren van een bijdrage aan een dergelijke standaard jaaranalyse.

De belangrijkste eerste stap bij de uitwerking van dit instrument voor de jaaranalyse bestaat uit het aangeven van de indicatoren die in het model moeten worden opgenomen. Vervolgens dient te worden vastgesteld welke basisgegevens nodig zijn voor het definiëren van deze indicatoren. De gegevens behoeven niet altijd op jaarbasis beschikbaar te zijn, omdat het model ook kan worden toegepast op steekproefsgewijs verzamelde gegevens.

Een prototype van zo'n standaardanalyse kan worden ontwikkeld, op basis van indicatoren voor leeftijdsgroepen, geslacht en wijze van verkeersdeelname, waarbij zowel ongevalgegevens als mobiliteitsgegevens zijn opgenomen. Een uitsplitsing naar wegtype is niet goed mogelijk, omdat gedetailleerde verkeersgegevens voor dit kenmerk niet regelmatig worden geïnventariseerd. Eerst dient te worden vastgesteld welke (steekproefsgewijze verzamelde) gegevens minimaal nodig zijn en met welke frequentie deze verzameld dienen te worden. Wel kan systematisch gekeken worden naar verschillen in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid op auto-snelwegen en overige wegen binnen en buiten de bebouwde kom. Voor zo'n eerste prototype komen ook seizoenseffecten in zowel de mobiliteit als de veiligheid in aanmerking, gecombineerd met algemene indicatoren over het weer (hoeveelheid neerslag per kwartaal, gemiddelde temperatuur, uren zon, enzovoort). Naast de standaardindicatoren kunnen ook meer temporele (bijvoorbeeld beleidsrelevante) factoren worden toegevoegd.

Modelontwikkeling

Naast bovengenoemde toepassingsgerichte variant, die moet resulteren in een standaard analysetechniek voor de jaaranalyses, is het van belang om de bestaande modellen verder te ontwikkelen. Deze modelontwikkeling

moet zich voornamelijk richten op het verklaren van geconstateerde ontwikkelingen in de veiligheid. De hierboven aangegeven gestructureerde aanpak kan hierbij worden gebruikt, waarbij met name de bruikbaarheid van de genoemde verklarende modellen centraal staat.

In Noorwegen is gebruik gemaakt van regionale gegevens, waarbij op basis van de overeenkomsten en verschillen tussen de regio's gezocht is naar een verklaring van de onveiligheid. Daarbij zijn zeer veel factoren gelijktijdig onderzocht. Behalve dat een opsplitsing naar regio een goede basis kan leveren voor een verklaringsstructuur, kan op deze wijze ook informatie beschikbaar komen over de specifieke, regiogebonden problemen en ontwikkelingen.

Bij de verdere uitwerking is vooral de beschikbaarheid van de gegevens een belangrijk aspect. Contacten met regionale organen zijn hierbij belangrijk: enerzijds voor het beschikbaar stellen van de gegevens, anderzijds voor de aansturing van regionaal beleid op grond van de resultaten.

De analyses behoeven niet noodzakelijkerwijs voor alle provincies even uitgebreid plaats te vinden. Gedacht kan worden aan meer algemene analyses voor alle provincies en enkele specifieke analyses voor pilot-provincies.

Belangrijk is hierbij om gestructureerd te werk te gaan, om uitgaande van een eenvoudig model te komen tot een detaillering. Zo'n detaillering kan bijvoorbeeld worden gezocht in specifieke kenmerken zoals verschillen in urbanisatie, verkeersopbouw (bijvoorbeeld veel of weinig doorgaand verkeer), infrastructurele karakteristieken en weersomstandigheden, maar ook in aandacht voor specifieke (typen van) maatregelen, gericht op specifieke groepen verkeersdeelnemers.

Hoewel hierbij de modelontwikkeling centraal staat, dient vanaf het begin de praktische bruikbaarheid van het instrument een belangrijke rol te spelen en een concreet product te worden gedefinieerd dat ook door gebruikers in de regio kan worden geëvalueerd.

Definitie benodigde gegevens

Een aantal malen is naar voren gekomen dat de kwaliteit van de analyses staat en valt met de kwaliteit van de beschikbare gegevens. Veel analyses zijn, hoezeer ook gewenst, niet uitvoerbaar door het ontbreken van de benodigde gegevens. Zo is in Australië onderzoek gedaan naar de mate waarin beleid is gevoerd op specifieke maatregelgebieden (vooral snelheid en alcohol) en naar de effecten daarvan op de veiligheid. Hiervoor zijn gedurende enige jaren maandelijkse gegevens geïnteriseerd, waarin de beleidsinspanningen zijn vastgelegd (zoals het aantal uren gerichte politiecontrole, het aantal TV-spots over het onderwerp alcohol in het verkeer, enzovoort). Dit soort gegevens ontbreekt in Nederland. Toch is er in het algemeen behoefte aan dergelijke 'performance' indicatoren. Indien dergelijke gegevens gedurende enkele jaren op regionaal niveau kunnen worden verzameld kan met vrij eenvoudige middelen een analyse worden uitgevoerd zoals deze in Australië door Cameron, Newstead & Vulcan (1994) is toegepast.

Het definiëren van indicatoren is een belangrijk aspect voor de permanente en tijdelijke monitoring en analyse van de verkeersveiligheid en het verkeersveiligheidsbeleid. Daarom zou van een project waarbij een opzet voor zo'n monitoringinstrument wordt uitgewerkt, een zekere sturing kunnen uitgaan op het verzamelen van de benodigde algemene verkeersveilig-

heidsgegevens in Nederland. Het is daarom zeer gewenst permanent contact te hebben met de onderzoekers binnen de SWOV die verantwoordelijk zijn voor de beschikbaarheid van de gegevens, zoals die bij de SWOV worden verwerkt met de programma's SIDO en WISDOM. De behoefte aan een dergelijke relatie geldt eveneens voor de gegevensverwerking die bij AVV-BG plaatsvindt. Concreet kan worden gedacht aan het gezamenlijk opstellen van een prioriteitenlijst van te verzamelen gegevens, met een motivering van de meerwaarde van die gegevens zowel voor het onderzoek als voor het beleid.

Literatuur

- Box, G.E.P. & Cox, D.R. (1964). *An analysis of transformations*. In: Journal of the Royal Statistical Society, Series B, vol. 26, pp. 211-243.
- Cameron, M.H., Newstead, S.V. & Vulcan, A.P. (1994). *Analysis of reductions in Victorian road casualties, 1989 to 1992*. In: Proceedings of the 17th Australian Road Research Board Conference, Gold Coast, Australia.
- COST (1999a). *Models for traffic and safety development and interventions (COST-329 Guidelines)*. European Commission, Directorate General for Transport, Brussel.
- COST (1999b). *COST-329 Reader*. Bijlage (cd-rom) bij de COST-329 Guidelines, European Commission, Directorate General for Transport, Brussel.
- Fridstrøm, L. (1998). *TRULS - an econometric model of road use, accidents, and their severity*. Paper presented at the 8th WCTR, Antwerp, July 12-17 1998, Antwerpen.
- Gaudry, M. (1984). *DRAG, un modèle de la demande routière, des accidents et de leur gravité, appliqué au Québec de 1956 à 1982*. Publication 359, Centre de Recherche sur les Transports CRT, Université de Montréal.
- Gifi, A. (1990). *Non-linear multivariate analysis*. Wiley, New York.
- Harvey, A.C. (1990). *The econometric analysis of time series*. Philip Allan, London.
- Lassarre S. (1994). *Cadrage méthodologique d'une modélisation pour un suivi de l'insécurité routière*. Synthèse INRETS No. 26, Parijs.
- Nelder, J.A. & Wedderburn, R.W.M. (1972). *Generalized linear models*. In: Journal of the Royal Statistical Society A, p. 370.
- Oppe, S. (1992). *A comparison of some statistical techniques for road accident analysis*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 24, no. 4, pp. 397-423.