

De relatie tussen verkeersintensiteit en het aantal verkeersongevallen voor verschillende wegtypen

Dr. M.C.B. Reurings & ir. S.T.M.C. Janssen

R-2006-22

De relatie tussen verkeersintensiteit en het aantal verkeersongevallen voor verschillende wegtypen

Een overzicht van verkeersmodellen op basis van wegen in het
stadsgewest Haaglanden en de provincies Gelderland en Noord-Holland

Documentbeschrijving

| | |
|---------------------|--|
| Rapportnummer: | R-2006-22 |
| Titel: | De relatie tussen verkeersintensiteit en het aantal verkeersongevallen voor verschillende wegtypen |
| Ondertitel: | Een overzicht van verkeersmodellen op basis van wegen in het stadsgewest Haaglanden en de provincies Gelderland en Noord-Holland |
| Auteur(s): | Dr. M.C.B. Reurings & ir. S.T.M.C. Janssen |
| Projectleider: | Ir. S.T.M.C. Janssen |
| Projectnummer SWOV: | 39.152 |
| Trefwoord(en): | Mathematical model, accident rate, risk, prediction, traffic concentration, accident prediction model, Netherlands. |
| Projectinhoud: | In dit rapport worden de resultaten van het project Infrastructuur en verkeersonveiligheid kort besproken en naast elkaar gelegd. Het doel van dit project was het leggen van (wiskundige) relaties tussen infrastructurele kenmerken van wegen enerzijds en de (on)veiligheid op die wegen anderzijds. Die relaties zijn gelegd voor wegen binnen en buiten de bebouwde kom in Haaglanden en voor provinciale wegen in Gelderland en Noord-Holland. |
| Aantal pagina's: | 41 |
| Prijs: | € 11,25 |
| Uitgave: | SWOV, Leidschendam, 2007 |

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

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

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten van het project *Infrastructuur en verkeersonveiligheid* kort besproken en naast elkaar gelegd. Het doel van dit project was het leggen van (wiskundige) relaties tussen infrastructurele kenmerken van wegen enerzijds en de (on)veiligheid op die wegen anderzijds. Die relaties zijn gelegd voor wegen binnen en buiten de bebouwde kom in Haaglanden en voor provinciale wegen in Gelderland en Noord-Holland. De uitgebreide resultaten zijn te vinden in Janssen & Reurings (2007) en Reurings & Janssen (2007a; 2007b).

Dergelijke wiskundige relaties worden in de literatuur over het algemeen aangeduid met 'accident prediction models' (APM's, ongevallenmodellen). De meeste ongevallenmodellen hebben dezelfde vorm. Ze drukken het aantal (letsel)ongevallen op een wegdeel uit in in ieder geval de lengte en verkeersintensiteit van dat wegdeel. Daarnaast kunnen ook nog andere wegkenmerken in het model worden opgenomen, zoals het aantal rijbanen, de rijbaanbreedte en de aanwezigheid van uitritten. Van deze modelvorm is ook uitgegaan in bovengenoemd project. Een verschil is echter dat wegkenmerken niet als verklarende variabelen in het model zijn opgenomen, maar dat geprobeerd is verschillende modellen te ontwikkelen voor verschillende wegtypen. Een van de redenen hiervoor is dat verkeersintensiteiten voor verschillende wegtypen sterk kunnen verschillen, waardoor het moeilijk is een goed model te fitten met zowel de intensiteit als bepaalde wegkenmerken als verklarende variabelen. De gebruikte gegevensbestanden bevatten te weinig informatie om een verfijndere indeling in wegtypen te maken; het was alleen mogelijk om onderscheid te maken tussen enkel- en dubbelbaanswegen. Het verschil tussen deze twee wegtypen is de rijrichtingscheiding; bij dubbelbaanswegen is de rijrichting fysiek gescheiden, bij enkelbaanswegen niet. Aangezien een rijrichtingscheiding het nagenoeg onmogelijk maakt dat voertuigen die in tegen-gestelde richting rijden met elkaar botsen, is het te verwachten dat het aantal rijbanen een grote invloed heeft op het aantal ongevallen.

Om de modellen daadwerkelijk te ontwikkelen, is gebruik gemaakt van gegeneraliseerde lineaire modellen. Deze worden in de literatuur veel gebruikt om ongevallenmodellen te schatten. Modellen geschat met lineaire regressie zijn ook gegeneraliseerde lineaire modellen. De gebruikte gegevensbestanden hebben geleid tot drie typen ongevallenmodellen. De modellen voor Haaglanden geven het verband weer tussen het aantal letselongevallen per rijbaanvak en de lengte en gemiddelde etmaalintensiteit van dat rijbaanvak, voor gebiedsontsluitende wegen binnen en buiten de bebouwde kom. De modellen in Gelderland geven hetzelfde verband weer, maar dan voor wegdelen (en dus niet voor rijbanen apart) van provinciale wegen buiten de bebouwde kom. Voor Noord-Holland zijn heel andere modellen opgesteld: zij drukken het aantal ongevallen per uur uit in de weglengte en de uurintensiteit. Dit was mogelijk omdat in het gegevensbestand voor deze provincie de telgegevens per uur zijn vastgelegd. Het is interessant om het verband te onderzoeken tussen uurintensiteiten en het aantal ongevallen per uur, aangezien hierdoor de invloed van weg- en

verkeerskenmerken, die binnen een bepaald wegtype nog aanzienlijk kunnen variëren, min of meer uitgeschakeld wordt.

Wanneer het drukker wordt op de weg, neemt het aantal ontmoetingen tussen verkeersdeelnemers toe. Het is te verwachten dat daardoor ook het aantal ongevallen toeneemt. Er zijn immers meer verkeersdeelnemers op de weg die een ongeval kunnen krijgen. Uit de modellen blijkt dat de toename van het aantal ongevallen (per kilometer) minder groot wordt naarmate de verkeersintensiteit stijgt. Het ongevallenrisico neemt dus af bij toenemende intensiteit, waarbij het ongevallenrisico gedefinieerd is als het aantal ongevallen per gereden motorvoertuigkilometer. Uit de meeste modellen voor Haaglanden volgt zelfs dat de ongevallendichtheid (het aantal ongevallen per kilometer weglengte) bij hoge intensiteit (meer dan 20.000 motorvoertuigen per etmaal) weer afneemt. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de database voor Haaglanden veel verschillende wegtypen bevatte. De wegen die veel verkeer moeten verwerken zijn zo ontworpen, dat zij dat op een veilige manier kunnen doen. Het is voor wegbeheerders noodzakelijk juist deze drukke wegen veiliger te maken aangezien daar de meeste ongevallen gebeuren. Om dezelfde reden valt er op die wegen ook de meeste winst op verkeersveiligheidsgebied te behalen.

De invloed van de weglengte is verschillend. In Haaglanden is het zo, dat op een rijbaan die twee keer zo lang is als een andere rijbaan maar wel dezelfde intensiteit heeft, twee keer zo veel ongevallen gebeuren. In Gelderland en Noord-Holland blijken bij gelijke intensiteit langere weggedelen daarentegen een lager risico te hebben dan kortere weggedelen. Dit komt waarschijnlijk doordat bij de letselongevallen ook de ongevallen op kruisingen meegenomen zijn. Zij zijn toegekend aan het aanliggende wegdeel met de hoogste intensiteit. Korte wegvakken staan dus onder een grotere invloed van kruispunten dan langere. Dat dit voor Haaglanden niet geldt, komt door de aard van het gegevensbestand. Een rijbaan in dat bestand is namelijk geen rijbaanvak tussen twee kruispunten, maar is samengesteld uit een aantal rijbaanvakken met dezelfde kenmerken. Dit kunnen zowel korte als lange rijbaanvakken zijn, waardoor de spreiding in het aantal kruispunten per kilometer voor de samengestelde rijbanen kleiner is dan voor de individuele rijbaanvakken. De invloed van kruispunten is dan verdwenen.

Andere conclusies die op grond van de gevonden modellen getrokken kunnen worden, zijn dat:

- dubbelbaanswegen over het algemeen een lager risico hebben dan enkelbaanswegen, wat een direct gevolg is van het scheiden van de rijrichtingen;
- in Haaglanden wegen binnen de bebouwde kom een hoger ongevallenrisico hebben dan wegen buiten de bebouwde kom, wat verklaard zou kunnen worden door de aanwezigheid van langzaam verkeer binnen de bebouwde kom;
- in Gelderland voor enkelbaanswegen het risico op weekenddagen hoger is dan op werkdagen, terwijl het voor dubbelbaanswegen net andersom is;
- in Noord-Holland het ongevallenrisico hoog is in de nachtelijke uren van weekenddagen, waarschijnlijk als gevolg van alcoholgebruik en vermoeidheid;

- in Noord-Holland het ongevalrisico voor enkelbaanswegen sterker wordt beïnvloed door de spitsuren dan het risico voor dubbelbaanswegen

Ongevallenmodellen kunnen op twee manieren door wegbeheerders gebruikt worden. Ten eerste kunnen ze het aantal daadwerkelijke ongevallen op een bepaalde weg vergelijken met het door een geschikt model voorspelde aantal. Wanneer het werkelijke aantal hoger is dan het voorspelde aantal, kan een wegbeheerder concluderen dat zijn wegvak onveilig is dan andere wegvakken van hetzelfde type. Door het wegvak nader te onderzoeken kan de wegbeheerder proberen te achterhalen hoe dat komt, en zo het probleem eventueel oplossen. Ten tweede kunnen ongevallenmodellen ook gebruikt worden om een keuze te maken tussen twee kenmerken bij het (opnieuw) inrichten van een weg. Uit de modellen in dit rapport volgt bijvoorbeeld dat dubbelbaanswegen over het algemeen een lager risico hebben dan enkelbaanswegen, en op basis daarvan kan een wegbeheerder besluiten op bepaalde wegen de rijrichtingen te scheiden.

Ook in het SWOV-programma 2007-2010 zullen ongevallenmodellen ontwikkeld worden voor verschillende wegtypen. Om dit goed te kunnen doen, is het aan te bevelen een zeer uitgebreid gegevensbestand op te bouwen. In dit bestand moeten van veel meer wegen veel meer kenmerken geregistreerd staan dan in de huidige bestanden het geval is. Ook is het interessant om kruispunten met hun kenmerken aan het bestand toe te voegen. Alleen dan kunnen zeer gedetailleerde weg- en kruispunttypen gedefinieerd worden, waarvoor dan ongevallenmodellen ontwikkeld kunnen worden. Dit zullen hetzelfde soort modellen zijn als beschreven in dit rapport, maar er zal ook gekeken worden naar een ander type modellen, namelijk de modellen die gebruikmaken van 'accident modification factors' (AMF's), zoals die in de Verenigde Staten ontwikkeld worden.

Summary

The relation between traffic volume and number of crashes for various road types; An overview of traffic models

This report briefly discusses the results of the *Infrastructure and road safety* project and compares them. The purpose of the project was to establish mathematical relations between, on the one hand, infrastructural road characteristics and, on the other hand, the safety level of these roads. These relations were established for urban and rural roads within the area known as Haaglanden, which consists of The Hague conurbation plus a few surrounding municipalities; and for provincial roads in the provinces of Gelderland and Noord-Holland. The detailed results can be found in Janssen & Reurings (2007) and Reurings & Janssen (2007a; 2007b).

Such mathematical relations are usually referred to in the literature as accident prediction models (APMs). Most APMs have the same structure. They express the number of injury crashes on a road stretch in the length and traffic volume of that road stretch. Besides this, other road characteristics can be included, such as the number of carriageways, the carriageway width, and the number of exit roads. The above mentioned project used this structure. However, a difference is that road characteristics are not used as explanatory variables in the model, but that we have tried to develop different models for different road types. One of the reasons for this is that the traffic volumes for different road types can differ strongly. This makes it difficult to fit a good model with both the volume as well as certain road characteristics as explanatory variables. The databases used do not contain enough information to make a detailed classification of road types; it was only possible to make a distinction between single and dual carriageway roads. The difference between these two road types is the separation of driving directions; in the case of dual carriageways, the driving direction is physically separated, in single carriageway roads it is not. Seeing as a driving direction separation makes it practically impossible for vehicles driving in the opposite direction to collide, it is to be expected that the number of carriageways greatly influences the number of crashes.

To actually develop the models we used generalized linear models. In the literature these are often used to estimate APM parameters. Models estimated by linear regression are also generalized models. The databases used have resulted in three types of APMs. The models for Haaglanden describe the relation between the number of injury crashes per carriageway section and the length and average 24-hour volume of that carriageway section for urban and rural distributor roads. The models in Gelderland describe the same relation, but for road segments of rural provincial roads, i.e. not for the separate carriageways. The models in Noord-Holland are completely different; they express the number of crashes per hour in road length and in hourly volume. This was possible because in the databases of this province, the traffic counts are registered per hour. It is interesting at this point to study the relation between hourly volumes and the numbers of crashes per hour, seeing as because of this, the influence of road and traffic

characteristics, which can vary considerably within a certain road type, are more or less excluded.

When a road gets busier, the number of meetings between road users increases. It is to be expected that because of this, the number of crashes would increase. After all, there are more road users who could be involved in a crash. The models show that the increase in the number of crashes per kilometre is less than the increase in the traffic volume. The crash rate thus decreases as the traffic volume increases. The crash rate is here defined as the number of crashes per motor vehicle kilometre travelled. Most of the Haaglanden models even showed that the crash density, i.e. the number of crashes per kilometre road, again declined when the volume was large, i.e. more than 20,000 motor vehicles per 24 hours. An explanation for this could be that the database for Haaglanden contained many different road types. The roads that have to deal with a lot of traffic have been designed in such a way that they can do so safely. These busy roads are the ones that road authorities should make safer, seeing as most of the crashes occur on them. For the same reason, the greatest road safety benefit is to be gained on these roads.

The influence of road length differs. In Haaglanden the situation is such that twice as many crashes occur on a carriageway that is twice as long as another carriageway, but has the same volume. In Gelderland and Noord-Holland on the other hand, with similar volumes, longer road sections have a lower crash rate than shorter sections. This is probably because the injury crashes also include the intersection crashes. They have been allotted to the adjacent road stretch with the highest traffic volume. So short road stretches are more influenced by intersections than longer ones. This does not apply to Haaglanden because of the nature of the database. A carriageway in that database is not a carriageway section between two intersections, but is composed of a number of carriageway sections with the same characteristics. They can be short as well as long carriageway sections. This leads to the dispersion in the number of intersections per kilometre for the composed carriageways being smaller than for the individual carriageway sections. The influence of intersections has thus disappeared.

Other conclusions based on the models found that can be drawn are:

- dual carriageways generally have a lower crash rate than single carriageways, which is a direct result of the driving directions being separated;
- urban roads in Haaglanden have a higher crash rate than rural roads, which could be explained by the presence of two-wheelers and pedestrians;
- single carriageway roads in Gelderland have a higher crash rate at the weekend than on working days, whereas it is the other way round for dual carriageways;
- the crash rate in Noord-Holland is high during weekend nighttime hours, probably being the result of alcohol use and fatigue;
- the crash rate in Noord-Holland on single carriageway roads is influenced more by the rush hours than that on dual carriageways.

Road authorities can use APMs in two ways. First they can compare the number of crashes on a particular road with the number predicted by the most suitable model. If the number is larger than the predicted number, the

road authority can conclude that his road section is less safe than other road sections of the same type. By studying the road section further, the road authority can try to determine what the matter is and, if so desired, solve the problem. Second, APMs can also be used to choose between two characteristics when a road is laid out again. The models in this report show that, for example, dual carriageways generally have a lower crash rate than single carriageway roads and, based on this, a road authority can decide to separate driving directions on certain roads.

Accident prediction models for different road types will also be developed in the SWOV 2007-2010 programme. In order to be able to do this well, we recommend setting up an extremely large database. This should contain data on many more characteristics of many more roads than the current databases now have. It is also interesting to add intersections with their characteristics. Only then can very detailed road and intersection characteristics be defined that are necessary for developing accident prediction models. These will be the same sort of models as described in this report. However, we will examine other types of models viz. the models that use Accident Modification Factors (AMFs), as do those being developed in the United States.

Inhoud

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Inleiding | 11 |
| 2. | Gebruikte modelleringstechniek | 13 |
| 2.1. | Modelvorm | 13 |
| 2.2. | Verklarende variabelen | 13 |
| 2.3. | Schatten van de modelparameters met GLM | 14 |
| 3. | De gegevensbestanden | 16 |
| 3.1. | Intensiteiten | 16 |
| 3.2. | Infrastructurele kenmerken | 17 |
| 3.3. | Dagen van de week | 18 |
| 3.4. | Ongevallen | 18 |
| 3.5. | Overzicht van de gegevensbestanden | 19 |
| 4. | Resultaten | 22 |
| 4.1. | Haaglanden | 22 |
| 4.1.1. | De modellen | 22 |
| 4.1.2. | Bespreking | 24 |
| 4.2. | Gelderland | 26 |
| 4.2.1. | De modellen | 26 |
| 4.2.2. | Bespreking | 26 |
| 4.3. | Noord-Holland | 30 |
| 4.3.1. | De modellen | 30 |
| 4.3.2. | Bespreking | 30 |
| 4.4. | Nabeschouwing | 33 |
| 5. | Conclusies en aanbevelingen | 36 |
| 5.1. | Conclusies | 36 |
| 5.2. | Bespreking | 36 |
| 5.3. | Praktisch nut van ongevallenmodellen voor wegbeheerders | 38 |
| 5.4. | Aanbevelingen voor gegevensbestanden | 39 |
| 5.5. | Aanbevelingen voor vervolgonderzoek | 39 |
| | Literatuur | 41 |

1. Inleiding

Het doel van het SWOV-project Infrastructuur en verkeersonveiligheid was het leggen van wiskundige relaties tussen de kenmerken van Nederlandse wegen enerzijds en de verkeersonveiligheid op deze wegen anderzijds. Het belangrijkste wegkenmerk is de verkeersintensiteit van motorvoertuigen. Deze kan uitgedrukt worden in het gemiddelde aantal motorvoertuigen per dag of per uur. In drie studies met gegevens over drie verschillende delen van Nederland zijn de relaties tussen verkeersintensiteit en aantal ongevallen vastgelegd in wiskundige formules. In de buitenlandse literatuur worden deze relaties vaak 'accident prediction models' genoemd.

Aangezien het onderwerp van dit SWOV-project nauw aansluit bij het onderwerp van Werkpakket 2 van het Europese project RIPCoRD-ISEREST, is een deel van dit project uitgevoerd in het kader van RIPCoRD-ISEREST. Werkpakket 2 is gestart met een literatuuronderzoek naar de ongevallenmodellen die in verschillende landen ontwikkeld zijn (Reurings et al., 2005). Vervolgens is door alle partners in het Werkpakket een pilotstudy uitgevoerd waarin de theorie uit de literatuurstudie is toegepast. In de Nederlandse pilotstudy zijn ongevallenmodellen ontwikkeld voor gebiedsontsluitingswegen in het stadsgewest Haaglanden (Reurings & Janssen, 2007a). Voor verschillende wegtypen zijn aparte modellen gemaakt. Er is alleen een indeling gemaakt in wegen buiten en binnen de bebouwde kom, en wegen binnen de bebouwde kom zijn weer ingedeeld in enkel- en dubbelbaanswegen. De gebruikte database bestond uit te weinig wegen om een verfijndere indeling in wegtypen te maken.

In principe is het mogelijk om van een groot aantal wegen in Nederland allerlei wegkenmerken te registreren, zodat verfijndere indelingen in wegtypen gemaakt kunnen worden. Dat is echter tijdrovend. Zeker het bepalen van de hoeveelheid verkeer op wegen kost tijd, want hiervoor moet gedurende een lange periode geteld worden. Op veel provinciale wegen zijn lussen in het wegdek aangebracht die permanent bijhouden hoeveel motorvoertuigen eroverheen rijden. Van een aantal provincies heeft de SWOV deze meetgegevens ontvangen, en daarom is besloten binnen het project Infrastructuur en verkeersonveiligheid vooralsnog te werken met provinciale wegen.

In het vervolg op het onderzoek Haaglanden zijn meetgegevens van twee provincies gebruikt, van Gelderland en Noord-Holland (Reurings & Janssen, 2007b; Janssen & Reurings, 2007). De gegevensbestanden van deze provincies waren verschillend van aard. Het bestand uit Gelderland bevatte gegevens over de gemiddelde etmaalintensiteiten van een aantal jaren, terwijl het bestand uit Noord-Holland de gemiddelde uurintensiteiten bevatte. Dit levert verschillende type modellen op. Met de gemiddelde uurintensiteiten zouden voor Noord-Holland ook gemiddelde etmaalintensiteiten berekend kunnen worden, waarmee dan dezelfde soort modellen als voor Gelderland ontwikkeld kunnen worden. Het aantal datapunten waarop de modellen dan gefit moeten worden is dan echter te klein om dit goed te doen.

In dit rapport worden de resultaten van de drie onderzoeken naar relaties tussen verkeersintensiteit en aantallen ongevallen naast elkaar gelegd. In *Hoofdstuk 2* worden de gebruikte modelvormen en modelleringstechnieken besproken. *Hoofdstuk 3* gaat dieper in op de verschillen tussen de gegevensbestanden waarop de relaties gebaseerd zijn. In *Hoofdstuk 4* worden de gevonden modellen gepresenteerd en besproken. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek. Ook wordt aangegeven hoe wegbeheerders gebruik kunnen maken van de ontwikkelde ongevallenmodellen (*Hoofdstuk 5*).

2. Gebruikte modelleringstechniek

In de literatuur zijn veel ongevallenmodellen beschreven die het aantal ongevallen uitdrukken in allerlei wegkenmerken. Reurings et al. (2005) hebben hiervan een uitgebreid overzicht gegeven en op basis daarvan aanbevelingen gedaan om een goed ongevallenmodel te ontwikkelen. Hun belangrijkste bevindingen zullen in dit hoofdstuk besproken worden, aangezien de door ons gevolgde methode daarop is gebaseerd.

2.1. Modelvorm

De meeste ongevallenmodellen voor weggedelen hebben in de literatuur de volgende vorm:

$$\mu = \alpha \cdot L^\beta \cdot INT^\gamma \cdot e^{\sum_{i=1}^n \delta_i x_i},$$

waarbij μ het verwachte aantal (letsel)ongevallen is op een wegdeel in een bepaalde periode. L en INT zijn de lengte en de etmaalintensiteit (over dezelfde periode) van dat wegdeel, terwijl $x_i, i = 1, \dots, n$ andere verklarende variabelen zijn, zoals de rijbaanbreedte of het aantal uitritten. De parameters $\alpha, \beta, \gamma, \delta_1, \dots, \delta_n$ moeten geschat worden op basis van de waargenomen aantallen (letsel)ongevallen en waarden van de verklarende variabelen.

2.2. Verklarende variabelen

Het is mogelijk allerlei wegkenmerken als verklarende variabelen in het model op te nemen. Daarbij is het wenselijk alleen die wegkenmerken te gebruiken die in theorie invloed hebben op het aantal ongevallen. In de praktijk blijkt echter de keuze van verklarende variabelen gebaseerd te worden op beschikbaarheid: alle wegkenmerken die beschikbaar zijn, komen in aanmerking als verklarende variabele. Reurings et al. (2005) bevelen aan alleen wegkenmerken te gebruiken die voldoen aan de volgende voorwaarden: het is bekend dat ze een grote invloed hebben op het aantal ongevallen, ze kunnen betrouwbaar worden, en ze zijn niet sterk gecorreleerd met andere variabelen. In ieder geval zou elk model de weglengte en de verkeersintensiteit als verklarende variabelen moeten hebben.

Een wegkenmerk dat waarschijnlijk grote invloed heeft op het aantal ongevallen en dat beschikbaar was voor zowel Haaglanden als Gelderland en Noord-Holland, is rijrichtingscheiding: door de rijrichtingen te scheiden wordt het onmogelijk gemaakt dat voertuigen die in tegengestelde richting rijden, tegen elkaar aan botsen. Wanneer een weg geen gescheiden rijrichting heeft, noemen we dat een enkelbaansweg, anders een dubbelbaansweg. In plaats van het aantal rijbanen als verklarende variabele in het model op te nemen, zijn er in het project Infrastructuur en verkeersveiligheid aparte modellen voor enkel- en voor dubbelbaanswegen ontwikkeld.

Als er in een model veel variabelen zitten, kan het erg moeilijk zijn een betekenis toe te kennen aan de geschatte waarden van de parameters,

omdat de verklarende variabelen ook onderling kunnen samenhangen. Daarom is er in het project Infrastructuur en verkeersonveiligheid voor gekozen aparte, simpele modellen (met alleen etmaalintensiteit en weglengte als verklarende variabelen) te ontwikkelen voor verschillende wegtypen. Voor Gelderland en Noord-Holland zijn er twee wegtypen onderscheiden: enkel- en dubbelbaanswegen. Voor Haaglanden was het mogelijk om een verfijndere indeling in wegtypen te maken door ook de snelheidslimiet mee te nemen.

Voor de provinciale wegen in Gelderland en Noord-Holland is niet alleen onderscheid gemaakt naar het aantal rijbanen, maar ook naar de dag van de week: werk- of weekenddag. Dit is geen wegkenmerk maar heeft zeker wel invloed op het aantal ongevallen. In het weekend is er namelijk een heel ander type verkeer op de weg dan op werkdagen.

2.3. Schatten van de modelparameters met GLM

Voor het schatten van de parameters $\alpha, \beta, \gamma, \delta_1, \dots, \delta_n$ zijn een aantal statistische technieken beschikbaar, waarvan gegeneraliseerde lineaire modellen (GLM) er een is. Deze methode wordt vaak toegepast in de literatuur. Een uitgebreide beschrijving van gegeneraliseerde modellen en de toepassing ervan op ongevallenmodellen kan gevonden worden in McCullagh & Nelder (1983) en de appendix van Reurings & Janssen (2007b). Hieronder volgt een korte beschrijving van GLM.

Bij gewone lineaire regressie wordt verondersteld dat de afhankelijke variabele Y_i normaal verdeeld is en dat zijn verwachting μ_i een lineaire combinatie is van een aantal verklarende variabelen x_{i1}, \dots, x_{ip} . Dit wordt als volgt uitgedrukt in de formule:

$$Y_i = \sum_{j=0}^p x_{ij} \beta_j + e_i \quad \text{ofwel} \quad \mu_i = \sum_{j=0}^p x_{ij} \beta_j,$$

Hierin is e_i een normaal verdeelde stochastische variabele met verwachting 0 en variantie σ^2 . Wanneer Y_i niet normaal verdeeld is of wanneer de relatie tussen de verwachting μ_i en de verklarende variabelen x_{i1}, \dots, x_{ip} niet lineair is, kan gebruik gemaakt worden van GLM. De vorm van dit type modellen is:

$$\eta_i = \sum_{j=0}^p x_{ij} \beta_j \quad \text{waar} \quad \eta_i = g(\mu_i).$$

De aannamen waaraan voldaan moet zijn, is dat g een monotone en differentieerbare afbeelding is en dat Y_i een verdeling heeft uit de exponentiële familie. We geven geen definitie van dit laatste maar merken alleen op dat zowel de normale verdeling als de Poissonverdeling en de negatief binomiale verdeling uit de exponentiële familie komen. Gewone lineaire regressie is dus een speciaal geval van GLM. De parameters β_j worden geschat met de methode der meest aannemelijke schatters.

In de literatuur wordt vaak aangenomen dat het aantal letselongevallen op een wegdeel een Poissonverdeling heeft. De modellen die op basis hiervan geschat worden, blijken echter last te hebben van overdispersie, wat inhoudt dat de variantie groter is dan op basis van de Poissonverdeling verwacht

mag worden. Het probleem van overdispersie kan op twee manieren opgelost worden: of door gebruik te maken van de quasi-aannemelijkheidsmethode of door aan te nemen dat het aantal ongevallen per wegdeel negatief binomiaal verdeeld is. Van deze laatste aanname wordt vaak uitgegaan in de literatuur (Reurings et al., 2005).

De negatief binomiale verdeling ontstaat door aan te nemen dat de parameter van een Poissonverdeelde stochastische variabele Y zelf een stochastische variabele is, en wel een die een Gammaverdeling volgt. De resulterende verdeling van Y is dan negatief binomiaal. Voor ongevallenmodellen kan deze aanname redelijk gerechtvaardigd worden. Het aantal ongevallen op een wegvak heeft inderdaad een Poissonverdeling, maar de verwachting van deze Poissonverdeling is nooit gelijk voor alle wegvakken. Ook al lijken wegvakken sterk op elkaar, ze verschillen altijd wel op een aantal kenmerken; ze liggen bijvoorbeeld al op een andere plaats. Hierdoor is de verwachting van de Poissonverdeling per wegvak anders en kan deze dus opgevat worden als een stochastische variabele. Er is in principe niets bekend over de verdeling van de Poissonparameter, maar meestal wordt aangenomen dat deze Gammaverdeeld is. Dit levert immers een bekende verdeling op: de negatief binomiale verdeling. Theoretische en psychologische achtergronden voor de aanname betreffende de Gammaverdeling worden gegeven door Abbess, Jarrett & Wright (1981) en Maycock (s.a). Voor alle gegevensbestanden van de drie regio's is steeds nagegaan welke methode het best fittende model opleverde, en in alle gevallen bleek dit de methode gebaseerd op de negatief binomiale verdeling te zijn. Alleen de modellen volgende uit deze methode worden daarom in dit rapport gepresenteerd en besproken.

3. De gegevensbestanden

Zoals in de inleiding vermeld, zijn er in het SWOV-project *Infrastructuur en verkeersonveiligheid* ongevallenmodellen ontwikkeld voor drie verschillende verzamelingen weggedeelten. Vanwege verschillen tussen deze drie verzamelingen was het niet mogelijk alle weggedeelten bij elkaar te nemen en op basis daarvan ongevallenmodellen te ontwikkelen. In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de verschillen.

3.1. Intensiteiten

De eerste ongevallenmodellen binnen het project zijn ontwikkeld voor gebiedsontsluitingswegen in het stadsgewest Haaglanden, zowel binnen als buiten de bebouwde kom. De keuze viel op dit wegtype en deze regio, omdat hiervoor het databestand Wegkenmerken+ het meest volledig is ingevuld. Wegkenmerken+ is een initiatief van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) van Rijkswaterstaat om voor alle rijbanen in het Nationale Wegenbestand (NWB) een uitgebreide selectie van wegkenmerken te registreren. Als een weg uit meerdere rijbanen bestaat, zijn de kenmerken per rijbaan vastgelegd. Een van deze kenmerken is de gemiddelde etmaalintensiteit, dus het gemiddelde aantal motorvoertuigen dat per etmaal over een rijbaan rijdt, genomen over een jaar. In Wegkenmerken+ wordt dit geschat op basis van een verkeersmodel of op basis van incidentele tellingen.

Betrouwbaardere intensiteitgegevens zouden verkregen kunnen worden door de motorvoertuigen te tellen over langere periodes. Op veel provinciale wegen gebeurt dit met permanente telpunten. Van een aantal provincies heeft de SWOV de telgegevens ontvangen, waaronder Gelderland en Noord-Holland. Het verschil tussen de gegevensbestanden van deze provincies is dat voor Gelderland de etmaalintensiteiten zijn geregistreerd en dat voor Noord-Holland de tellingen per uur zijn vastgelegd. Met de uurintensiteiten zouden de etmaalintensiteiten voor Noord-Holland berekend kunnen worden, maar om redenen die hieronder genoemd zullen worden, is besloten alleen modellen te ontwikkelen die de uurintensiteit in verband brengen met de onveiligheid (dus het aantal ongevallen) van een weg in dat bepaalde uur.

Waarom is het verband tussen de uurintensiteit en het aantal ongevallen per uur interessant? Als gekeken wordt naar de relatie van de etmaalintensiteit en het aantal ongevallen per dag, verschilt per wegdeel niet alleen de intensiteit maar ook de combinatie van weg- en verkeerskenmerken. Deze kenmerken kunnen binnen een gekozen wegtype aanzienlijk verschillen, bijvoorbeeld wat betreft de kruispunt dichtheid. Het aantal ongevallen wordt dan niet alleen beïnvloed door de etmaalintensiteit, maar ook door die veranderende weg- en verkeerskenmerken. Wat wel voor alle combinaties min of meer gelijk blijft, is de invloed van tijdsafhankelijke kenmerken, zoals weers- en lichtomstandigheden. De kenmerken van de individuele voertuigen en hun bestuurders kunnen ook veranderen wanneer de etmaalintensiteit toeneemt, maar in dit project worden deze kenmerken 'ondergebracht' bij de verkeerskenmerken: de bewegingskarakteristieken van de voertuigen in de verkeersstroom, zoals rijnsnelheden en rijrichtingen.

In een studie naar het verband tussen de uurintensiteit en het aantal ongevallen per uur hebben de infrastructurele weg- en verkeerskenmerken geen invloed meer omdat die wegkenmerken niet veranderen. De invloed van de tijdsafhankelijke kenmerken, met name de lichtomstandigheden, wordt juist groter. De kenmerken van de individuele voertuigen en hun bestuurders kunnen nu wel sterk veranderen bij een toename van de intensiteit. De lage uurintensiteiten treden immers op in de nachtelijke uren, wanneer er minder zicht is en meer kans op snelrijdende voertuigen en op bestuurders die vermoeid zijn en/of alcohol hebben gedronken dan bij de hoge uurintensiteiten overdag. De verkeerskenmerken zullen dus veranderen in de loop van de dag.

De drie bestanden, dat wil zeggen Wegkenmerken+ voor Haaglanden en de bestanden met de telgegevens voor Gelderland en Noord-Holland, geven aanleiding tot drie verschillende typen modellen:

- modellen die het aantal ongevallen op gebiedsontsluitingswegen in verband brengen met de gemiddelde etmaalintensiteit;
- modellen die het aantal ongevallen op provinciale wegen (een deel van de gebiedsontsluitende wegen buiten de bebouwde kom) in verband brengen met de gemiddelde etmaalintensiteit;
- modellen die het aantal ongevallen op provinciale wegen in verband brengen met de gemiddelde uurintensiteit.

3.2. Infrastructurele kenmerken

Om relaties te vinden tussen kenmerken van wegen en de onveiligheid op die wegen, is het niet voldoende om alleen te kijken naar de verkeersintensiteit. Ook andere wegkenmerken zouden bij de modellen betrokken moeten worden. Dit kan op twee manieren. De eerste methode, die vaak wordt toegepast in de literatuur (Reurings et al., 2005), is dat bepaalde kenmerken als verklarende variabelen opgenomen worden in het model. Als er echter in een model veel variabelen zitten, kan het moeilijk zijn om betekenis toe te kennen aan de geschatte waarden van die parameters omdat de verklarende variabelen ook onderling kunnen samenhangen. Daarom is in het SWOV-project gekozen voor de tweede manier, namelijk om verschillende modellen te ontwikkelen voor verschillende wegtypen. Deze wegtypen kunnen gedefinieerd worden met behulp van de geregistreerde wegkenmerken. Het aantal verklarende variabelen binnen elk model kan dan beperkt blijven. Een bijkomend voordeel is dat binnen homogene wegtypen de onvermijdelijke onvolkomenheden in de registratie van ongevallen waarschijnlijk minder storend zullen zijn voor het onderzoek naar de relatie tussen kenmerken van wegen en onveiligheid dan bij grove indelingen naar wegtype het geval is.

Voor de provinciale wegen in Gelderland en Noord-Holland zijn niet alle mogelijk belangrijke wegkenmerken geregistreerd. Wel is voor beide provincies bekend of tellingen betrekking hebben op enkel- of dubbelbaanswegen. In dit rapport worden met dubbelbaanswegen wegen bedoeld met een fysieke rijrichtingscheiding. Aangezien de verkeersintensiteiten voor deze twee wegtypen nogal verschillen en bovendien het wegbeeld van enkel- en dubbelbaanswegen voor de weggebruiker duidelijk anders is, is besloten ze apart te behandelen. Door de modellen voor beide wegtypen te vergelijken, kunnen conclusies getrokken worden over de verschillen in

veiligheid. Dit kan echter alleen voor de wegen in Gelderland om redenen die in het volgende hoofdstuk uitgelegd zullen worden.

Voor de rijbanen in Haaglanden zijn meer kenmerken geregistreerd dan voor de provinciale wegen in Gelderland en Noord-Holland, bijvoorbeeld of de rijbaan onderdeel is van enkel- of dubbelbaanswegen, het aantal rijrichtingen per rijbaan, de parallelvoorzieningen en het aantal snelheidsremmende maatregelen. Het is dus mogelijk om een verfijndere indeling in wegtypen te maken dan alleen enkel- of dubbelbaanswegen. Het nadeel is dan wel dat er per wegtype in de database maar weinig rijbaandelen beschikbaar zijn om modellen op te fitten, waardoor de ontwikkelde modellen minder goed zullen fitten. Voor de volgende rijbaantypen was het mogelijk goed fittende modellen te ontwikkelen:

- alle rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom;
- alle rijbanen van gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom;
- rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur en één rijrichting die onderdeel zijn van een dubbelbaansweg (wegtype 2x1);
- rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur en twee rijrichtingen die onderdeel zijn van een enkelbaansweg (wegtype 1x2).

Voor een aantal andere rijbaantypen konden geen goed fittende modellen ontwikkeld worden; hiervoor zijn slechts algemenere conclusies getrokken.

3.3. Dagen van de week

Het is interessant om te weten of het risico op werkdagen hetzelfde is als op weekenddagen. Voor de provinciale wegen in zowel Gelderland als Noord-Holland is dit mogelijk omdat de gemeten intensiteiten uitgesplitst zijn naar werkdagen, zaterdag en zondag. De intensiteiten voor deze laatste twee dagen kunnen gemakkelijk omgerekend worden naar intensiteiten voor weekenddagen door simpelweg het gemiddelde te nemen. Voor Haaglanden zijn alleen de gemiddelde etmaalintensiteiten geregistreerd, waardoor er geen onderscheid gemaakt kan worden naar werk- en weekenddag.

3.4. Ongevallen

Voor alle rijbanen en weggedeelten in de drie gegevensbestanden is het aantal letselongevallen bepaald dat heeft plaatsgevonden in de jaren waarvoor intensiteitsgegevens bekend zijn (1997-2003 voor de twee provincies en 2000-2002 voor Haaglanden). De ongevallen op kruispunten worden ook meegeteld; zij zijn toegekend aan het aansluitende weggedeelte met de hoogste etmaalintensiteit. Er is gekozen voor letselongevallen, dus ongevallen waarbij ten minste een gewonde of gedode verkeersdeelnemer is geregistreerd. Dit is gedaan omdat de registratie van ongevallen met uitsluitend materiële schade bij lange na niet volledig is en het aantal dodelijke ongevallen te klein is om een betrouwbare analyse mee uit te voeren. De registratie van het aantal letselongevallen is ook niet volledig, maar bij de onderzochte wegtypen wordt verondersteld dat de registratiegraad een ondergeschikte invloed heeft op het verband tussen het aantal ongevallen en de verkeersintensiteit. Er wordt namelijk van uitgegaan dat de onderregistratie overal hetzelfde niveau heeft. Bovendien wordt verondersteld dat de modellen minder gevoelig worden voor onderregistratie wanneer de wegtypen verder uitgesplitst worden. De registratiegraad kan wel van

belang worden bij onderzoek naar de verandering van modelcoëfficiënten in de loop van enkele jaren omdat de ongevallenregistratie onderhevig is aan wisselende (en onvoorspelbare) prioriteiten van de registrerende instanties. Het blijft een probleem dat de onvolledigheid van de registratie niet naar plaatsgebonden kenmerken (dus niet naar wegtype) te meten valt. De genoemde aannamen binnen dit onderzoek zijn evenwel plausibel gebleken.

3.5. Overzicht van de gegevensbestanden

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de rijbaantypen die voor Haaglanden onderscheiden zijn.

| Rijbaantype | Aantal rijbaandelen | Lengte (km) | Gemiddelde etmaalintensiteit | Verkeersprestatie | Aantal letselongevallen | Ongevallenrisico |
|---|---------------------|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| Alle rijbanen | 401/4.257 | 524 | 11.934 | 6.847 | 3.153 (1.063) | 0,46 |
| Alle rijbanen binnen de bebouwde kom | 303/3.806 | 413 | 11.716 | 5.298 | 2.833 (1.852) | 0,54 |
| Binnen de kom, 50 km/uur, één rijrichting | 148/2.059 | 244 | 11.955 | 3.194 | 1.534 (1.063) | 0,48 |
| Binnen de kom, 50 km/uur, twee rijrichtingen | 123/1.677 | 146 | 9.670 | 1.546 | 1.230 (759) | 0,80 |
| Binnen de kom, 50 km/uur, één rijrichting, dubbelbaansweg | 137/2.031 | 242 | 11.966 | 3.171 | 1.503 (1.045) | 0,47 |
| Binnen de kom, 50 km/uur, twee rijrichtingen, enkelbaansweg | 122/1.676 | 145 | 9.679 | 1.537 | 1.230 (759) | 0,80 |
| Binnen de kom, 70 km/uur | 12/32 | 13 | 29.527 | 420 | 49 (22) | 0,11 |
| Alle rijbanen buiten de kom | 99/451 | 111 | 12.746 | 1.549 | 320 (131) | 0,21 |
| Buiten de kom, 60 km/uur | 20/70 | 20 | 11.275 | 247 | 71 (20) | 0,28 |
| Buiten de kom, 80 km/uur, 1 rijrichting | 16/114 | 37 | 14.502 | 588 | 77 (44) | 0,13 |
| Buiten de kom, 80 km/uur, 2 rijrichtingen | 38/224 | 45 | 11.296 | 557 | 144 (60) | 0,26 |

Tabel 3.1. *Weglengte, gemiddelde etmaalintensiteit, verkeersprestatie, aantal letselongevallen en ongevallenrisico voor verschillende wegtypen in Haaglanden, 2000-2002.*

Per rijbaantype zijn het aantal beschikbare rijbaandelen, de totale rijbaanlengte (in kilometers), de gemiddelde etmaalintensiteit, de verkeersprestatie (in miljoenen motorvoertuigkilometers), het totale aantal letselongevallen en het ongevallenrisico (het aantal letselongevallen gedeeld door de verkeersprestatie) gegeven. Zowel de verkeersprestatie als het aantal ongevallen zijn totalen over 2000-2002.

In de kolom met het aantal rijbaandelen staan steeds twee getallen. Het tweede getal is het totale aantal rijbaanvakken in Haaglanden waarvan in Wegkenmerken+ kenmerken zijn opgenomen. Hierbij wordt onder een rijbaanvak een stuk rijbaan verstaan tussen twee kruispunten dat verder geen kruispunten bevat, eventueel wel uitritten. Op veel van deze rijbaanvakken zijn in 2000-2002 geen ongevallen gebeurd, wat het erg lastig maakt om goede modellen te fitten. Daarom zijn alle rijbaanvakken die in Wegkenmerken+ dezelfde kenmerken hebben, samengevoegd tot een groter rijbaandeel. Voor dit rijbaandeel zijn de lengte, het aantal letselongevallen en de gemiddelde etmaalintensiteit opnieuw berekend. Het eerste getal in de tweede kolom van *Tabel 3.1* is het aantal van deze samengevoegde rijbaandelen van het betreffende rijbaantypen. Het getal tussen haakjes in de kolom met het aantal letselongevallen is het aantal letselongevallen dat op een kruising heeft plaatsgevonden.

Op basis van deze tabel kunnen voorzichtig een aantal conclusies getrokken worden, bijvoorbeeld dat rijbanen met twee rijrichtingen een hoger risico hebben dan rijbanen met slechts één rijrichting. Verder valt op dat op rijbanen binnen de bebouwde kom (behalve die met een snelheidslimiet van 70 km/uur) meer dan de helft van het aantal ongevallen op kruispunten heeft plaatsgevonden. Voor de rijbanen buiten de bebouwde kom is dit over het algemeen minder dan de helft. Dit zou verklaard kunnen worden door het gegeven dat de gemiddelde lengte van de originele, dus niet samengevoegde rijbaanvakken binnen de bebouwde kom 108 meter is, terwijl een rijbaanvak buiten de bebouwde kom een gemiddelde lengte van 246 meter heeft. Binnen de bebouwde kom is het aantal kruispunten per kilometer dus groter, waardoor er ook meer kruispuntongevallen gebeuren.

In *Tabel 3.2* is dezelfde informatie weergegeven voor de provinciale wegen in Gelderland. Bij deze wegen is slechts onderscheid gemaakt tussen enkel- en dubbelbaanswegen. De verkeersintensiteiten zijn uitgesplitst naar werk-, weekend- en gemiddelde weekdag. De NWB geeft aan dat er in 2003 in Gelderland in totaal 1.116 km aan provinciale enkel- en 97 km aan provinciale dubbelbaanswegen lag. Een groot deel van de provinciale wegen in Gelderland is dus opgenomen in het gegevensbestand. Uit *Tabel 3.2* volgt onder andere dat provinciale dubbelbaanswegen in Gelderland een lager risico hebben dan provinciale enkelbaanswegen. Op weekenddagen is het vooral op enkelbaanswegen onveiliger dan op werkdagen.

Bij het aantal letselongevallen is tussen haakjes weer aangegeven hoeveel ongevallen er plaatsgevonden hebben op kruisingen. In tegenstelling tot Haaglanden vindt op de provinciale dubbelbaanswegen in Gelderland meer dan de helft van het aantal letselongevallen plaats op kruisingen, en op de enkelbaanswegen minder dan de helft. Dit verschil kan niet verklaard worden uit de gemiddelde lengtes van de weggedeelten, aangezien het hier niet gaat om wegvakken die geen kruisingen bevatten. Het is ook niet bekend wat de kruispunt dichtheid is van de weggedeelten. Wel zou gesteld kunnen worden dat provinciale dubbelbaanswegen veelal in de buurt liggen van stedelijke gebieden, waardoor er meer potentiële conflicten zijn als gevolg van afslaand verkeer.

| Wegtype | Dagtype | Aantal rijbaandelen | Lengte (km) | Gemiddelde etmaalintensiteit | Verkeersprestatie | Aantal letselongevallen | Ongevallenrisico |
|----------------|------------|---------------------|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| Enkelbaansweg | Werkdag | 631 | 872 | 8.414 | 13.385 | 3.046 (1.350) | 0,23 |
| | Weekenddag | | | 6.044 | 3.846 | 1.091 (454) | 0,28 |
| | Weekdag | | | 7.719 | 17.191 | 4.137 (1.804) | 0,24 |
| Dubbelbaansweg | Werkdag | 133 | 72 | 15.744 | 2064 | 390 (215) | 0,19 |
| | Weekenddag | | | 11.258 | 590 | 119 (73) | 0,20 |
| | Weekdag | | | 14.459 | 2653 | 509 (288) | 0,19 |

Tabel 3.2. *Weglengte, gemiddelde etmaalintensiteit uitgesplitst naar werk- en weekenddagen, verkeersprestatie, totale aantal letselongevallen over 1997-2003, en ongevallenrisico voor provinciale enkel- en dubbelbaanswegen in Gelderland.*

Tabel 3.3 geeft dezelfde gegevens over 1997-2003 voor de provinciale wegen in Noord-Holland. Voor de gegevens uitgesplitst naar uren van de dag wordt verwezen naar Janssen & Reurings (2007). Uit de Statistiek van de Wegen van het CBS blijkt dat er in 2003 er in Noord-Holland 468 km aan provinciale enkel- en 108 km aan provinciale dubbelbaanswegen lag. Ongeveer de helft van de provinciale wegen in Noord-Holland is dus opgenomen in het gegevensbestand.

| Wegtype | Dagtype | Aantal rijbaandelen | Lengte (km) | Gemiddelde etmaalintensiteit | Verkeersprestatie | Aantal letselongevallen | Ongevallenrisico |
|----------------|------------|---------------------|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| Enkelbaansweg | Werkdag | 26 | 211 | 12.094 | 4.662 | 877 (358) | 0,19 |
| | Weekenddag | | | 8.923 | 1.376 | 291 (87) | 0,21 |
| | Weekdag | | | 11.188 | 6.038 | 1.168 (445) | 0,19 |
| Dubbelbaansweg | Werkdag | 24 | 54 | 29.977 | 2.936 | 880 (535) | 0,30 |
| | Weekenddag | | | 21.285 | 834 | 238 (144) | 0,29 |
| | Weekdag | | | 27.493 | 3.770 | 1.118 (679) | 0,30 |

Tabel 3.3. *Weglengte, gemiddelde etmaalintensiteit uitgesplitst naar werk- en weekenddagen, verkeersprestatie, totale aantal letselongevallen over 1997-2003 en ongevallenrisico voor provinciale enkel- en dubbelbaanswegen in Noord-Holland.*

Uit deze tabel lijkt te volgen dat dubbelbaanswegen in Noord-Holland onveilig zijn dan enkelbaanswegen. Dit geldt echter niet algemeen gesteld worden. De enige conclusie die getrokken kan worden, is dat van de wegen in het gebruikte gegevensbestand, op dubbelbaanswegen meer ongevallen plaatsvinden per gereden motorvoertuigkilometer. Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen beide wegtypen, moeten wegstukken van gelijke lengte en met gelijke intensiteit vergeleken worden.

Bij het aantal letselongevallen is tussen haakjes weer aangegeven hoeveel ongevallen er plaatsgevonden hebben op kruisingen. Net als in Gelderland vindt ook in Noord-Holland op de provinciale dubbelbaanswegen meer dan de helft van het aantal letselongevallen plaats op kruisingen, terwijl dit op de enkelbaanswegen minder dan de helft is.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de modellen gepresenteerd die ontwikkeld zijn voor Haaglanden, Gelderland en Noord-Holland.

4.1. Haaglanden

4.1.1. De modellen

De kenmerken van rijbanen van gebiedsontsluitende wegen in stadsgewest Haaglanden zijn gebruikt om een aantal mogelijkheden van GLM uit te proberen. Zoals in *Hoofdstuk 2* beschreven staat, zijn er drie manieren waarop GLM gebruikt kan worden om ongevallenmodellen te ontwikkelen. Alle drie de manieren zijn gebruikt. Er is geconcludeerd dat de negatief binomiale verdeling de beste modellen oplevert, dat wil zeggen modellen die het beste aansluiten bij de aannamen en waarvan de residuen het gewenste gedrag vertonen.

Er zijn twee verschillende modelvormen getest, namelijk

$$\mu = \alpha \cdot L^{\beta} \cdot INT^{\gamma} \quad (4.1)$$

en

$$\mu = \alpha \cdot L^{\beta} \cdot INT^{\gamma} \cdot e^{\delta \frac{INT}{1000}}, \quad (4.2)$$

waarbij μ het totale verwachte aantal letselongevallen is in een periode van drie jaar op een bepaald weggedeelte, en L en INT de lengte en gemiddelde etmaalintensiteit zijn van dat weggedeelte. De parameters α , β , γ , δ moeten geschat worden op basis van de waargenomen aantallen letselongevallen, de weglengte en de verkeersintensiteit. Het enige verschil tussen beide modellen is de e -macht in *Model 4.2*. Deze is toegevoegd omdat de vorm van *Model 4.1* totaal niet paste bij de data. Een rechtvaardiging voor deze toevoeging wordt gegeven in *Hoofdstuk 2* van Reurings & Janssen (2007b). Daarin wordt uitgelegd dat de intensiteit niet alleen de hoeveelheid verkeer beschrijft, maar ook kenmerken van de weg. Drukke wegen zien er immers anders uit dan rustige wegen. In de literatuur worden wegkenmerken in ongevallenmodellen als exponent van een e -macht opgenomen; in dit geval geldt dat dus voor de intensiteit. Dat *Model 4.2* beter aansluit bij de data voor rijbanen in Haaglanden wil niet zeggen dat dit model altijd beter is dan *Model 4.1*. Voor andere wegen moet altijd opnieuw nagegaan worden welke modelvorm het beste is.

Hieronder volgt een overzicht van de geschatte modellen

- voor alle rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom:

$$\hat{\mu} = 5,89 \cdot 10^{-6} \cdot L^{0,99} \cdot INT^{0,81} \cdot e^{-0,0385 \frac{INT}{1000}};$$

- voor alle rijbanen van gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom:

$$\hat{\mu} = 7,52 \cdot 10^{-9} \cdot L^{0,96} \cdot INT^{1,54} \cdot e^{-0,094 \frac{INT}{1000}};$$

- voor rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur en één rijrichting die onderdeel zijn van een weg met twee rijbanen met elk één rijrichting:

$$\hat{\mu} = 6,06 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot INT^{0,65} \cdot e^{-0,028 \frac{INT}{1000}};$$

- voor rijbanen van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur en twee rijrichtingen die onderdeel zijn van een weg met één rijbaan met twee rijrichtingen:

$$\hat{\mu} = 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot INT^{0,68}.$$

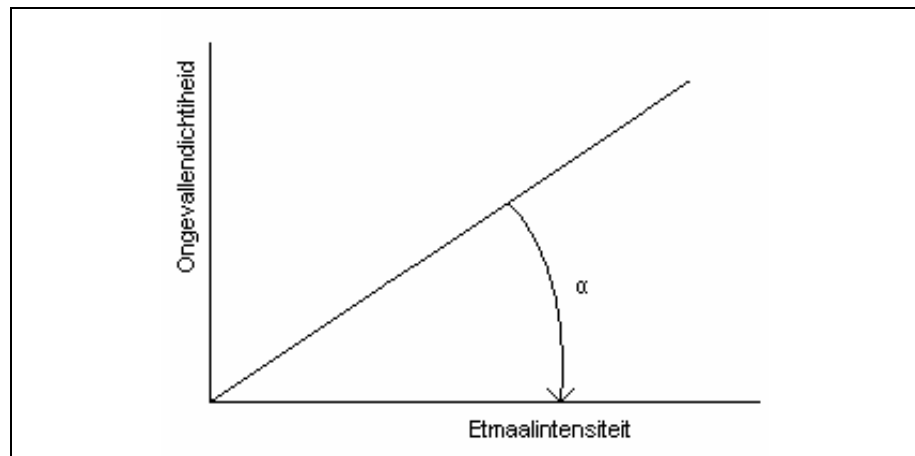
In deze modellen is $\hat{\mu}$ het voorspelde totale aantal letselgevallen in drie jaar.

De juistheid van alle modellen is uitgebreid getest. Ten eerste is gekeken naar de deviantie en Pearsons χ^2 . Als deze veel groter zijn dan 1 is er sprake van overdispersie, wat betekent dat de variantie van de data groter is dan verwacht mag worden op basis van de gekozen verdeling. Voor al deze modellen geldt dat ze dicht genoeg bij 1 liggen om overdispersie uit te sluiten. Vervolgens is gekeken naar de parameterschattingen. Deze zijn allemaal statistisch significant met een significantieniveau van 5%. Ten slotte zijn ook de gestandaardiseerde deviatieresiduen bestudeerd. Deze hebben dezelfde rol als de residuen in gewone lineaire regressie. Ze moeten aan een aantal voorwaarden voldoen, omdat er anders niet veel waarde gehecht kan worden aan de conclusies op basis van de deviantie, Pearsons χ^2 en de parameterschattingen. Welke voorwaarden dit zijn en hoe getest kan worden of de gestandaardiseerde deviantieresiduen daaraan voldoen, staat beschreven in Reurings & Janssen (2007b). In dat rapport staan voor alle modellen de waarden van de deviantie en Pearsons χ^2 , de schattingen van de parameters en een aantal bijbehorende statistieken.

In de laatste twee modellen is L als offsetvariabele genomen, dat wil zeggen dat zijn coëfficiënt niet geschat is maar gelijk gesteld aan 1. Dat is gedaan omdat in de voorgaande modellen de coëfficiënt van L nooit statistisch significant verschilde van 1. Door beide kanten van een model nu te delen door L , ontstaat een uitdrukking voor de ongevallendichtheid, gedefinieerd als het aantal letselgevallen per jaar per kilometer weglengte. Als deze in een grafiek wordt uitgezet tegen de intensiteit, dan kan het ongevalrisico als volgt uit de grafiek gehaald worden:

$$\text{Risico} = \frac{\text{aantal letselgevallen per jaar}}{365 \cdot \text{etmaalintensiteit} \cdot \text{weglengte} \cdot 10^{-6}} = \tan(\alpha) \cdot \frac{10^6}{365},$$

waarin α de hoek is tussen de x -as en de lijn die een punt in de grafiek behorend bij een bepaald weggedeelte verbindt met de oorsprong - zie *Afbeelding 4.1*. Uit de formule volgt dat hoe groter deze hoek is, hoe hoger het risico.



Afbeelding 4.1. Grafische weergave van het ongevalrisico.

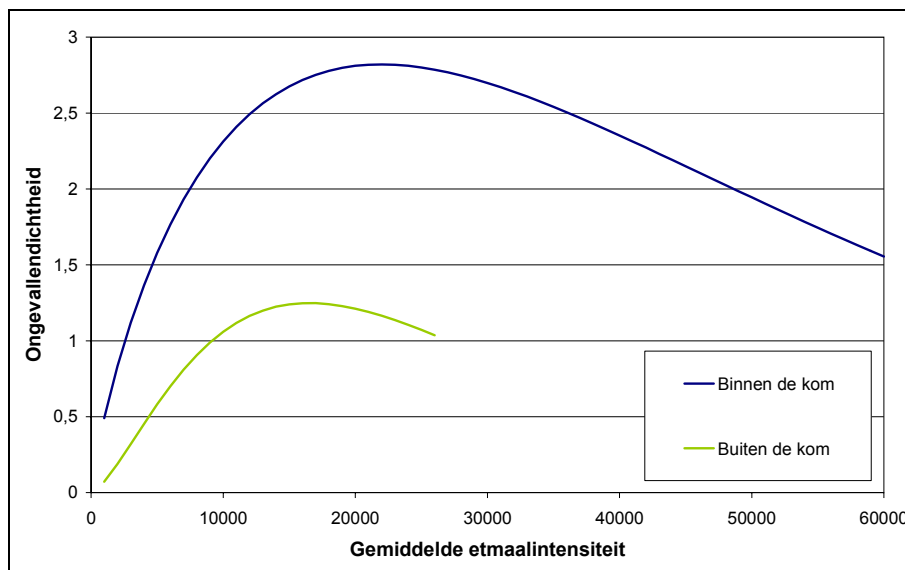
4.1.2. Bespreking

In deze paragraaf zullen de geschatte modellen kort besproken worden. Voor een uitgebreide bespreking en vergelijking wordt verwezen naar Reurings & Janssen (2007b).

Het eerste wat misschien opvalt aan de modellen is dat de exponent van L in de eerste twee modellen bijna gelijk is aan 1 en in de laatste twee modellen gelijk gesteld kon worden aan 1. Dit betekent dat op een rijbaan die tweemaal zo lang is als een andere rijbaan maar wel dezelfde intensiteit heeft, twee keer zoveel letselongevallen gebeuren. Omdat de kruispuntongevallen aan een rijbaanvak zijn toegekend, zouden korte rijbanen onder een grotere invloed staan van kruispunten dan langere rijbanen, en daarom zou de exponent van L naar verwachting kleiner moeten zijn dan 1. Dat dat in Haaglanden niet het geval is, zou een gevolg kunnen zijn van het feit dat de modellen ontwikkeld zijn op basis van samengestelde rijbanen. Een dergelijke samengestelde rijbaan kan bestaan uit korte en lange rijbaanvakken, waardoor de spreiding in het aantal kruispunten per kilometer voor de samengestelde rijbanen kleiner is dan voor de individuele rijbaanvakken.

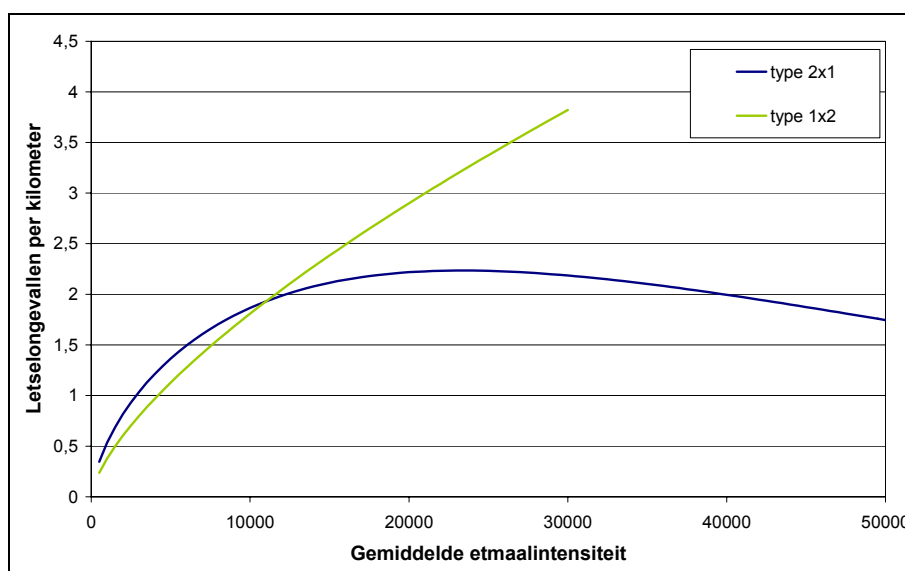
Om de modellen onderling met elkaar te kunnen vergelijken, zijn een aantal plaatjes getekend. In *Afbeelding 4.2* zijn de door de modellen voorspelde ongevallendichtheden van gebiedsontsluitingswegen binnen en buiten de bebouwde kom in Haaglanden weergegeven op de hierboven beschreven manier. Omdat de exponenten van L voor beide modellen niet statistisch significant verschillen van 1, zijn deze bij het maken van *Afbeelding 4.2* voor het gemak gelijk gesteld aan 1. Uit de grafiek volgt duidelijk dat de rijbanen binnen de bebouwde kom een hoger risico hebben dan rijbanen buiten de bebouwde kom. Opvallend is dat het ongevalrisico afneemt voor hogere intensiteiten. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de rijbanen met

een hoge intensiteit in het gegevensbestand veiliger zijn omdat ze nou eenmaal ontworpen zijn om op een veilige manier veel verkeer te kunnen verwerken. Doorstroming gaat in dat geval dus samen met veiligheid.



Afbeelding 4.2. De voorspelde ongevallendichtheid voor een jaar uitgezet tegen de intensiteit voor rijbanen binnen en buiten de bebouwde kom in Haaglanden.

In Afbeelding 4.3 zijn de door de modellen voorspelde ongevallendichtheden van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur in Haaglanden weergegeven. Voor lage intensiteiten is er niet veel verschil tussen het risico van rijbanen met één rijrichting en rijbanen met twee rijrichtingen. Bij hogere intensiteiten hebben de rijbanen met slechts één rijrichting een veel lager risico.



Afbeelding 4.3. De voorspelde ongevallendichtheid voor een jaar uitgezet tegen de intensiteit voor rijbanen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/uur, uitgesplitst naar wegtype, in Haaglanden.

4.2. Gelderland

4.2.1. De modellen

De modellen voor Gelderland die hieronder worden gepresenteerd, zijn geschat onder de aanname dat het aantal ongevallen op weggedeelten negatief binomiaal verdeeld is. Deze aanname is met de weggedeelten van Haaglanden uitgebreid getest en in mindere mate ook met de wegen in Gelderland, en de negatief binomiale verdeling bleek het beste aan te sluiten bij de data. Ook zijn beide *Modelvormen 4.1* en *4.2* uitgeprobeerd, aangezien voor Haaglanden bleek dat niet alle data aansluiten bij dezelfde modelvorm. De gemiddelde etmaalintensiteit van een weekdag wordt berekend als een zevende van vijf maal de etmaalintensiteit van werkdagen plus twee maal de etmaalintensiteit van weekenddagen. Hieronder volgt een overzicht van de gevonden modellen in Gelderland:

- voor enkelbaanswegen op werkdagen: $\hat{\mu} = 3,68 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,81} \cdot INT^{0,45}$;
- voor enkelbaanswegen op weekenddagen: $\hat{\mu} = 2,97 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,78} \cdot INT^{0,45}$;
- voor dubbelbaanswegen op werkdagen: $\hat{\mu} = 6,10 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,87} \cdot INT^{0,46}$;
- voor dubbelbaanswegen op weekenddagen: $\hat{\mu} = 5,96 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,60} \cdot INT^{0,53}$;
- voor enkelbaanswegen op werkdagen: $\hat{\mu} = 2,50 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,62} \cdot INT^{0,58}$;
- voor enkelbaanswegen op weekenddagen: $\hat{\mu} = 2,50 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,51} \cdot INT^{0,55}$.

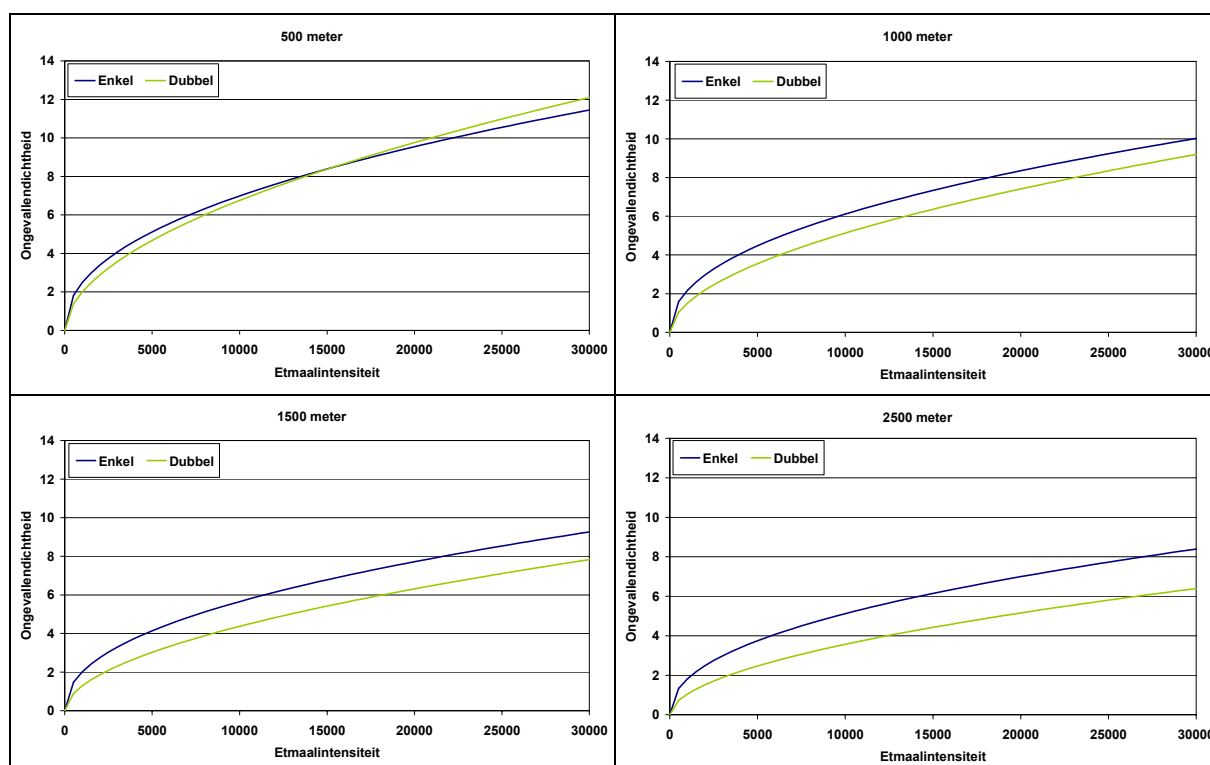
In deze modellen is $\hat{\mu}$ het voorspelde totale aantal letselongevallen in zeven jaar. De juistheid van de modellen is, net als in het geval van Haaglanden, getest door de parameterschattingen, de overdispersie en de residuen te bestuderen. De parameterschattingen verschillen allemaal sterk significant van nul. De overdispersieparameter en de residuen blijken te voldoen aan de aannamen van het model.

4.2.2. Bespreking

Een belangrijk verschil met de modellen voor Haaglanden is dat de exponent van L significant verschilt van 1 met 95% betrouwbaarheid. Daarom is in geen van de modellen L als offsetvariabele genomen. In *Paragraaf 4.1* is een mogelijke verklaring gegeven waarom de exponent van L zo dicht bij 1 ligt, terwijl normaal gesproken kortere wegvakken een hoger risico zouden moeten hebben vanwege de grotere invloed van kruispunten. De weggedeelten in Gelderland bestaan over het algemeen ook uit meerdere wegvakken, maar een weggedeelte bevat hooguit aan het begin en/of einde een druk kruispunt. Voor de weggedeelten in het gegevensbestand van Gelderland zou dus kunnen gelden dat de korte wegdelen onder een grotere invloed staan van deze drukke kruispunten dan de langere wegdelen.

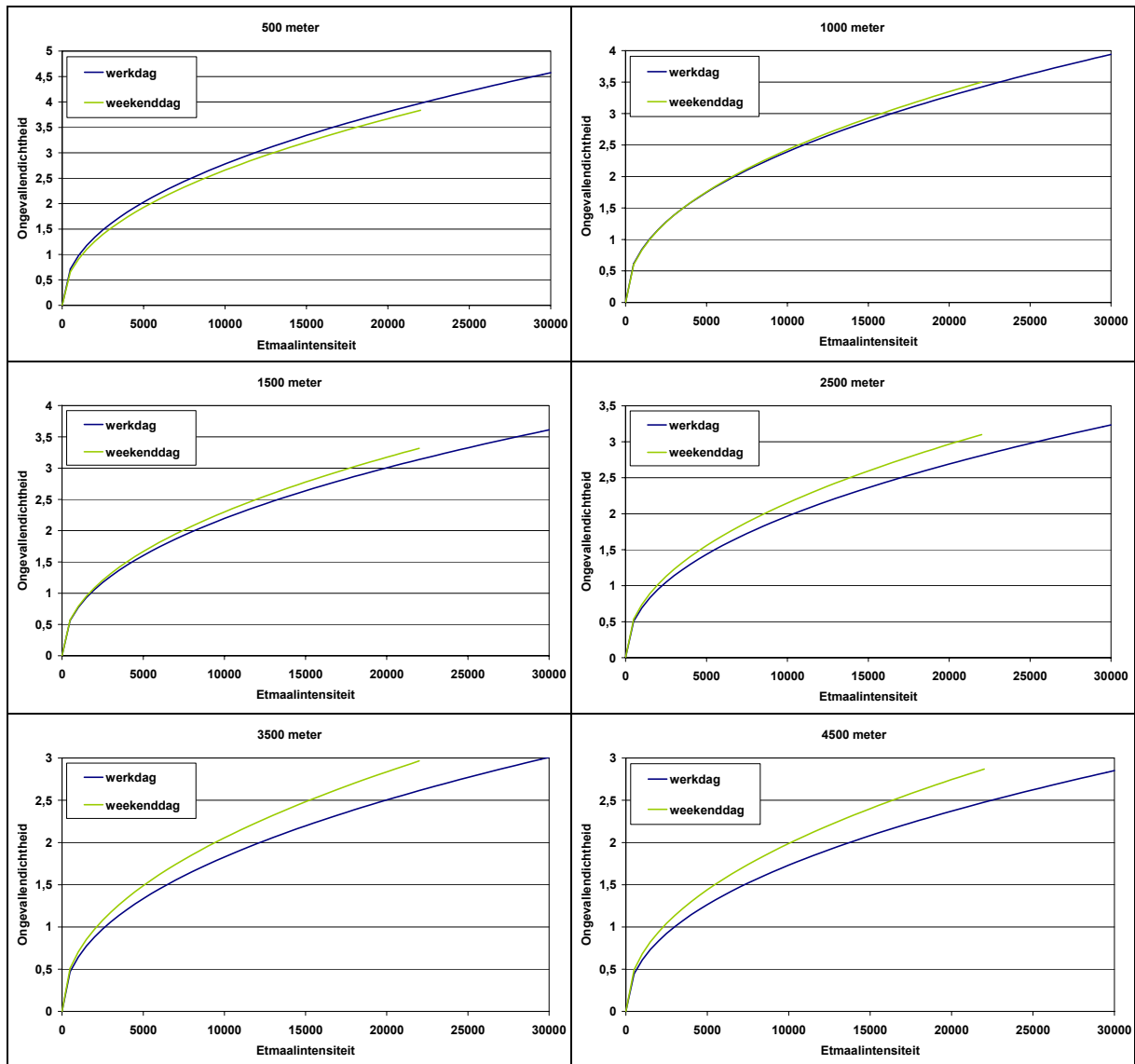
Om de modellen makkelijker met elkaar te kunnen vergelijken is een aantal grafieken getekend. Voor vooraf gekozen weglengten zijn de ongevallen-dichtheden uitgezet tegen de gemiddelde etmaalintensiteit. De ongevallen-dichtheid is nu gedefinieerd als het aantal letselongevallen in zeven jaar per kilometer. Uit de grafieken kan dan ook het gemiddelde risico over zeven jaar afgelezen worden.

In *Afbeelding 4.4* zijn voor weggedeelten van enkel- en dubbelbaanswegen van respectievelijk 500, 1000, 1500 en 2500 meter de ongevallendichtheden op weekdays uitgezet tegen de gemiddelde etmaalintensiteit. In alle gevallen ligt het risico op enkelbaanswegen hoger, behalve voor weggedeelten met een lengte van 500 meter en een intensiteit groter dan 15.222. De verklaring van de verschillen kan gezocht worden in hogere kruispunt-dichtheden voor de kortere weggedeelten bij dubbelbaanswegen. Deze dubbelbaanswegen worden verondersteld voornamelijk in stedelijke gebieden te liggen en hebben daardoor meer potentiële conflicten als gevolg van afslaand verkeer dan de enkelbaanswegen. Op basis van *Afbeelding 4.4* kan geconcludeerd worden dat winst van dubbelbaanswegen groter wordt naarmate de weggedeelten langer worden.

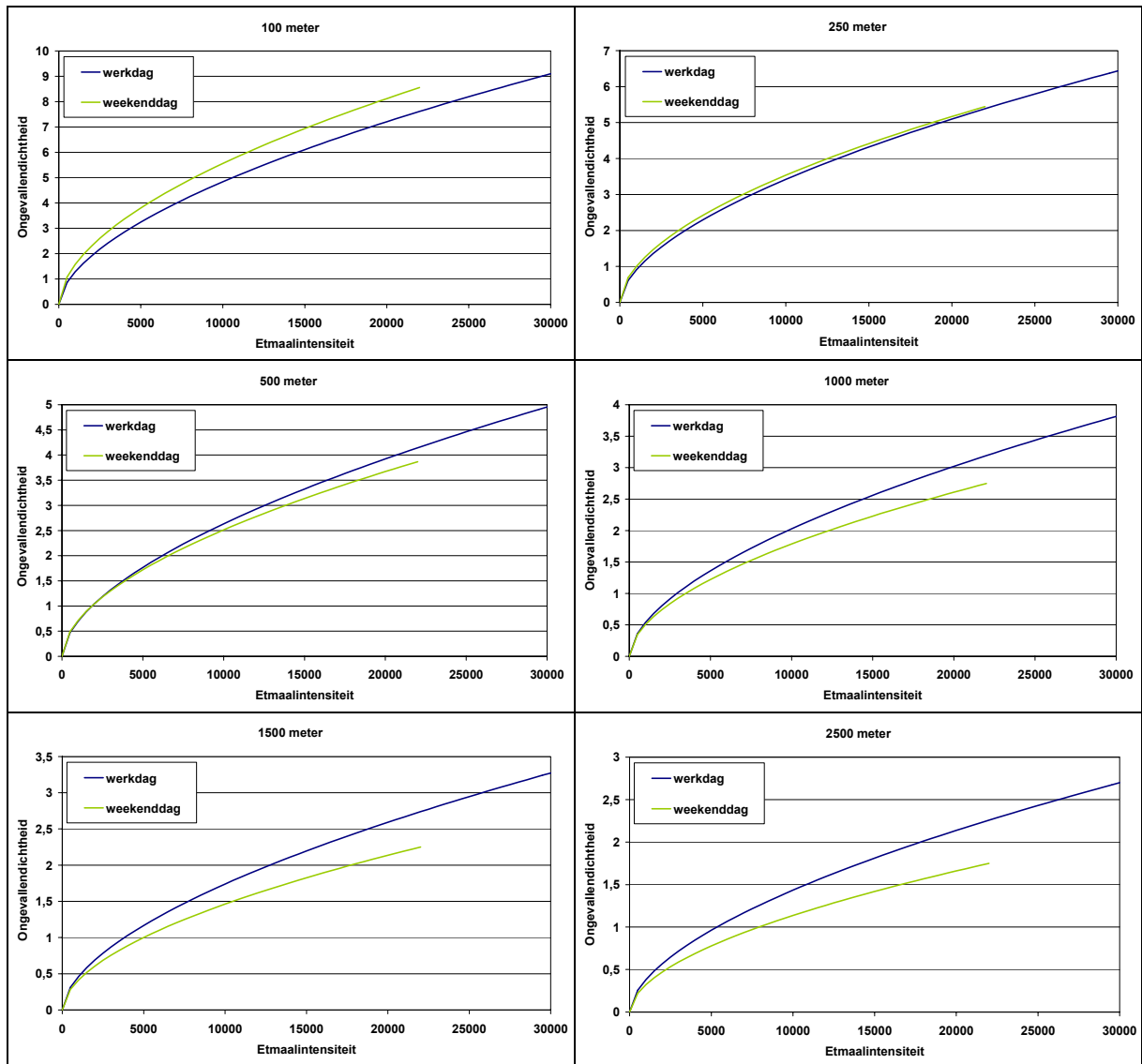


Afbeelding 4.4. De voorspelde ongevallendichtheden over zeven jaar voor enkel- en dubbelbaanswegen in Gelderland.

In *Afbeelding 4.5* staan zes grafieken waarin de voorspelde ongevallendichtheden voor enkelbaanswegen voor werk- en weekenddagen over zeven jaar zijn weergegeven. In *Afbeelding 4.6* staan de grafieken voor dubbelbaanswegen. Aangezien een jaar meer werk- dan weekenddagen bevat, zullen de ongevallendichtheden voor werkdagen in principe hoger zijn dan voor weekenddagen. Daarom zijn in *Afbeeldingen 4.5 en 4.6* niet de ongevallendichtheden gebruikt zoals gedefinieerd in *Paragraaf 4.1*. De ongevallendichtheid voor werkdagen respectievelijk weekenddagen is nu het gemiddelde aantal letselongevallen op een werkdag respectievelijk weekenddag, waarbij het gemiddelde is genomen over zeven jaar, per 1000 kilometer.



Afbeelding 4.5. De voorspelde ongevallendichtheden op werk- en weekenddagen voor provinciale enkelbaanswegen in Gelderland over zeven jaar.



Afbeelding 4.6. De voorspelde ongevallendichtheden op werk- en weekenddagen voor provinciale dubbelbaanswegen in Gelderland over zeven jaar.

Het blijkt dat voor enkelbaanswegen het ongevallenrisico op weekenddagen hoger is dan het ongevallenrisico op werkdagen. Voor dubbelbaanswegen is het echter net andersom. De afbeeldingen laten ook zien dat de gemiddelde intensiteit op de weekenddagen lager ligt dan op de werkdagen. Dit is in overeenstemming met de eerder getoonde *Tabel 3.2*.

Gezien de interactie met het aantal rijbanen kan een verklaring voor de verschillen moeilijk gevonden worden in verschillende rijstijlen of ritmotieven op werk- en weekenddagen. Wel moet worden opgemerkt dat de modellen voor de enkelbaanswegen beter fitten dan die voor de dubbelbaanswegen. Door de lage aantallen weggedeelten – en dus lage aantallen ongevallen – voor de dubbelbaanswegen is het risico daarvoor sterk fluctuerend, in ieder geval minder stabiel over de zeven onderzoeksjaren dan voor de enkelbaanswegen. De vraag of op de weekenddagen het risico hoger of lager is dan op de werkdagen, is nu niet goed te beantwoorden. Door het

gegevensbestand uit te breiden met meer provinciale dubbelbaanswegen, zou deze vraag misschien wel beantwoord kunnen worden.

4.3. Noord-Holland

4.3.1. De modellen

In totaal zijn er voor Noord-Holland vier modellen geschat die het aantal letselongevallen per uur uitdrukken in een aantal verklarende variabelen voor enkel- en dubbelbaanswegen, opgesplitst naar werk- en weekenddagen. De twee modellen voor werkdagen met alleen de weglengte en uurintensiteit als verklarende variabelen bleken het aantal letselongevallen in de spitsuren (7.00-9.00 en 15.00-18.00 uur) te onderschatten. Daarom is aan deze modellen een extra variabele toegevoegd: $SPITS_j$. Deze variabele is een dichotome variabele en is als volgt gedefinieerd:

$$SPITS_j = \begin{cases} 1, & \text{voor } j = 8,9,16,17,18; \\ 0, & \text{anders.} \end{cases}$$

Hier staat bijvoorbeeld $j = 8$ voor het uur tussen 7:00 en 8:00 uur.

De vier modellen zijn:

- voor enkelbaanswegen op werkdagen:

$$\hat{\mu}_j = 1,35 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,57} \cdot INT_j^{0,66} \cdot e^{0,50 \cdot SPITS_j};$$

- voor dubbelbaanswegen op werkdagen:

$$\hat{\mu}_j = 4,30 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,67} \cdot INT_j^{0,76} \cdot e^{0,40 \cdot SPITS_j}$$

- voor enkelbaanswegen op weekenddagen:

$$\hat{\mu}_j = 4,81 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,56} \cdot INT_j^{0,33};$$

- voor dubbelbaanswegen op weekenddagen:

$$\hat{\mu}_j = 6,24 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,82} \cdot INT_j^{0,39};$$

waar $\hat{\mu}_j$ het voorspelde totale aantal letselongevallen over zeven jaar is op een weggedeelte van lengte L in uur j , en INT_j de uurintensiteit is van dat weggedeelte in uur j . De juistheid van de modellen is getest door de parameterschattingen, de overdispersie en de residuen te bestuderen. De parameterschattingen verschillen allemaal sterk significant van nul. De overdispersieparameter en de residuen blijken te voldoen aan de aannamen van het model.

4.3.2. Bespreking

De voorspelde ongevallendichtheden op de weggedeelten in het databestand zijn in *Afbeelding 4.7* uitgezet tegen de uurintensiteit. Omdat het nu gaat om uurintensiteiten en omdat de werk- met de weekenddagen

vergeleken moeten worden, wordt de ongevallendichtheid in deze paragraaf op weer andere wijze berekend dan voor Haaglanden en Gelderland. Voor elk uur van de dag wordt het totale aantal letselongevallen op werk- of weekenddagen in de hele periode van zeven jaar gedeeld door het aantal werk- of weekenddagen in die periode. Dit levert dan het gemiddelde aantal letselongevallen op per uur per werk- of weekenddag. Vervolgens wordt dit aantal gedeeld door de weglengte in kilometers en dan vermenigvuldigd met 1000. Dit geeft het aantal letselongevallen per uur per 1000 kilometer per werk- of weekenddag. De ongevallendichtheid d_{werk} op werkdagen is dus

$$d_{werk} = \frac{\text{totaal letselongevallen in een uur op werkdagen}}{\frac{5}{7} \cdot 365 \cdot 7} \cdot \frac{1000}{\text{weglengte}}$$

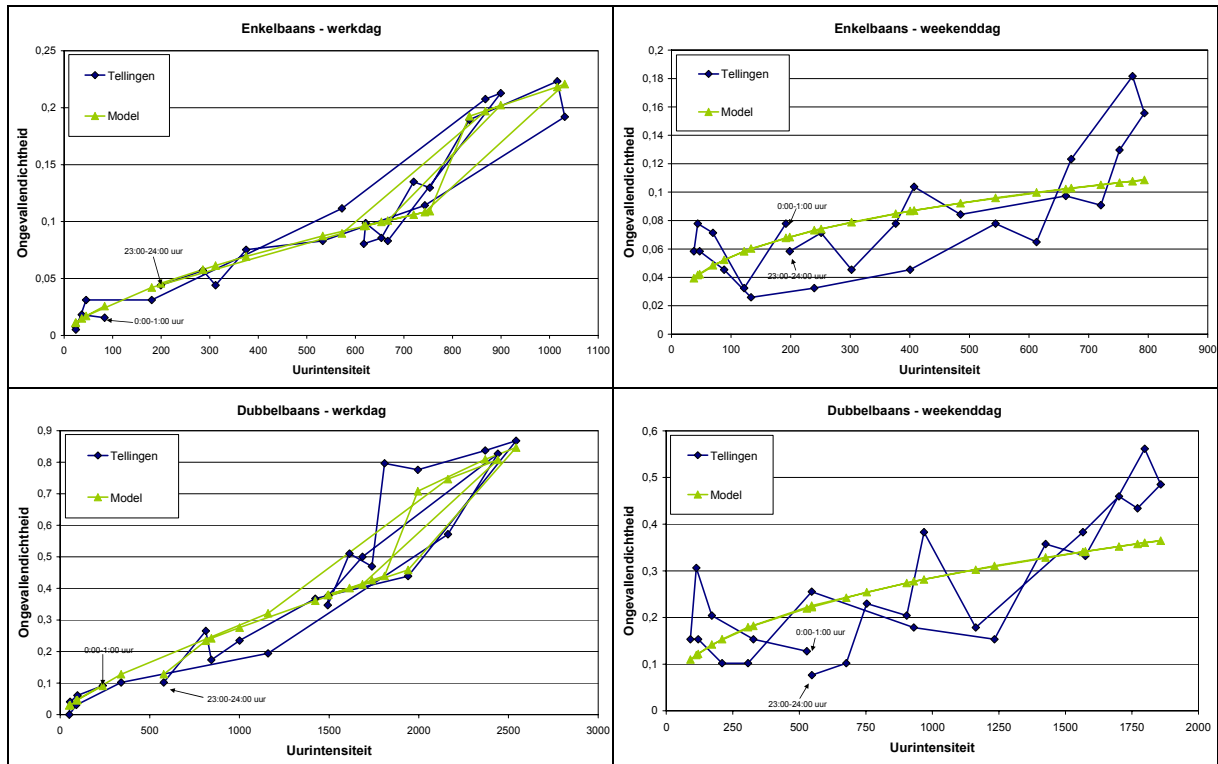
en de ongevallendichtheid $d_{weekend}$ op weekenddagen is dus

$$d_{weekend} = \frac{\text{totaal letselongevallen in een uur op weekenddagen}}{\frac{2}{7} \cdot 365 \cdot 7} \cdot \frac{1000}{\text{weglengte}}$$

In de grafieken *Afbeelding 4.7* zijn ook de geobserveerde ongevallendichtheden uitgezet. Op basis van deze grafieken lijken de gevonden modellen correct te zijn, in het bijzonder de modellen voor werkdagen. De voorspelde waarden voor weekenddagen lijken niet erg aan te sluiten bij de waargenomen waarden. Dit is hoogstwaarschijnlijk een direct gevolg van de lage aantallen letselongevallen per uur per weggedeelte op weekenddagen. In de meeste gevallen vindt er namelijk hooguit een enkel letselongeval plaats. Het door het model voorspelde aantal letselongevallen per weggedeelte per uur op weekenddagen ligt hierdoor tussen 0 en 1. Voor wegen met weinig ongevallen (dus nul) geeft dit een overschatting en voor wegen met veel ongevallen (dus een) geeft dit een onderschatting. Het gegevensbestand bevat niet genoeg verklarende variabelen om dit probleem op te lossen.

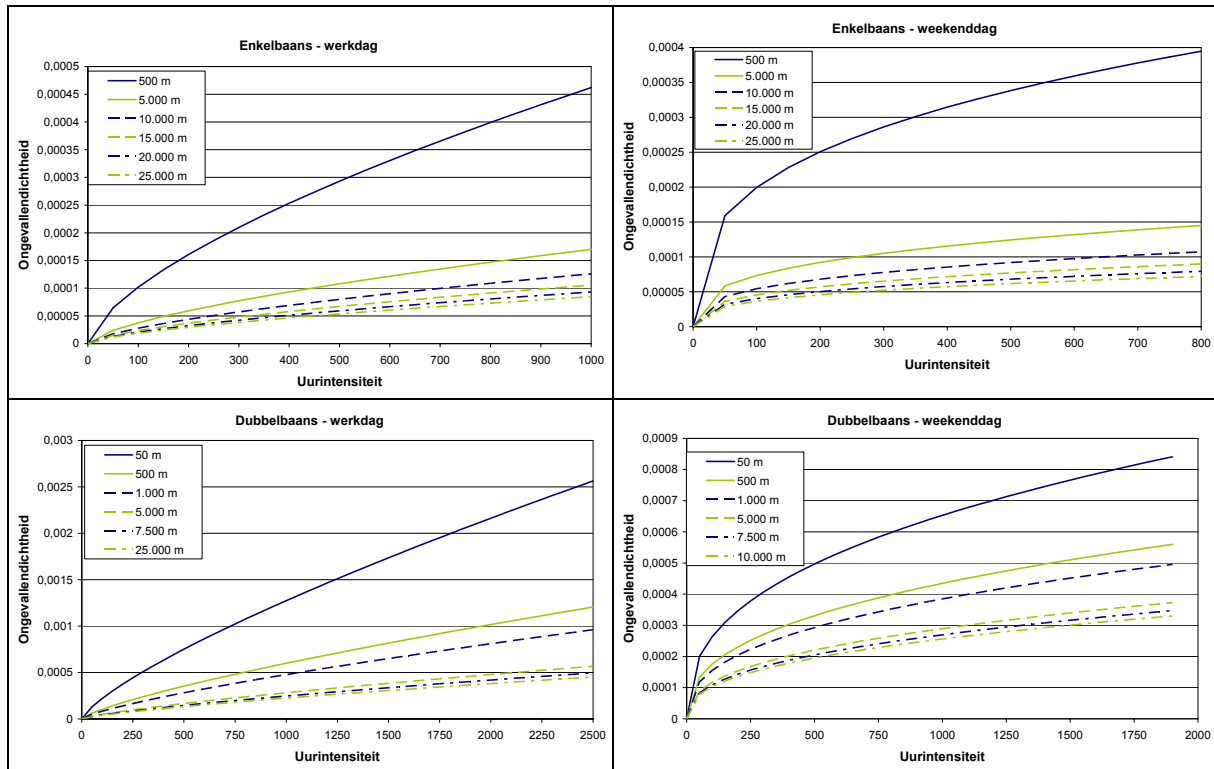
Wat in *Afbeelding 4.7* aan de geobserveerde data opvalt, is het hoge risico in de nachtelijke uren, met name in het weekend. Dit lijkt een gevolg te zijn van alcohol en vermoeidheid.

Duidelijk is te zien dat de ongevallendichtheid afhangt van de uurintensiteit. De invloed van de lengte van de weggedeelten is er echter niet uit te halen. Daarom is voor alle vier de modellen de voorspelde ongevallendichtheid voor een aantal vaste weglengtes uitgezet tegen de intensiteit, zie *Afbeelding 4.8*. De modellen voor werkdagen zijn getekend voor uren buiten de spits



Afbeelding 4.7. De geobserveerde en de door de modellen voorspelde ongevallendichtheden per uur voor provinciale wegen in Noord-Holland.

Het is interessant om de gevonden modellen met elkaar te vergelijken. Ten eerste neemt op weekenddagen $\hat{\mu}_j$ minder snel toe bij groeiende intensiteit dan op werkdagen, want de exponent van INTj is op weekenddagen ongeveer twee keer zo klein als op werkdagen. Dit geldt zowel voor enkel- als voor dubbelbaanswegen. Voor de weglengte geldt dit niet. De exponent van L is voor enkelbaanswegen op werk- en weekenddagen vrijwel gelijk. Voor dubbelbaanswegen is de exponent van L groter op weekenddagen. Spitsuren hebben op enkelbaanswegen een grotere invloed op het aantal letselongevallen dan op dubbelbaanswegen. Bij gelijke weglengte en uurintensiteit worden er op enkelbaanswegen in de spits een factor $e^{0,50} = 1,65$ meer letselongevallen voorspeld dan buiten de spits, terwijl deze factor voor dubbelbaanswegen gelijk is aan $e^{0,40} = 1,49$.



Afbeelding 4.8. De voorspelde ongevallendichtheden voor provinciale wegen in Noord-Holland uitgezet tegen de uurintensiteit voor een aantal vaste weglengten.

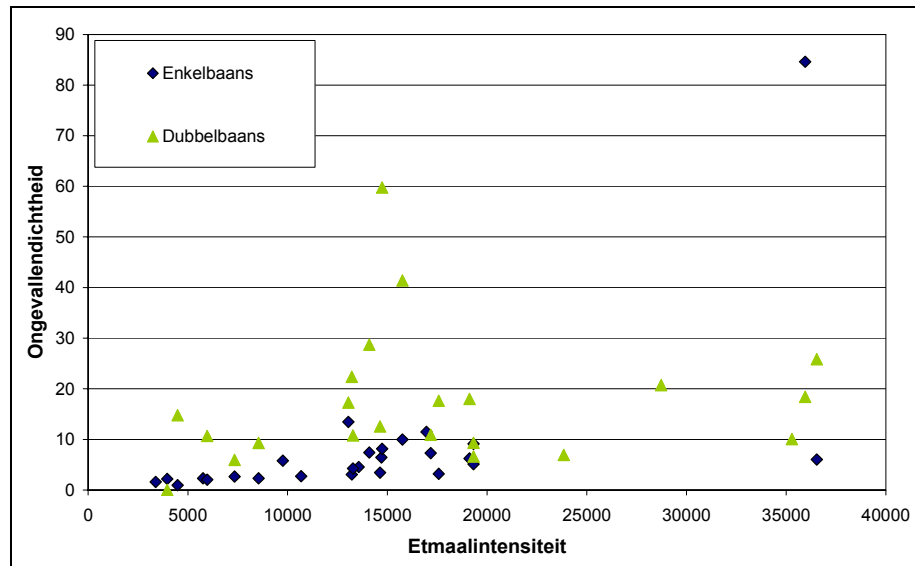
Het is ook interessant om de voorspelde risico's van enkel- en dubbelbaanswegen en werk- en weekenddagen onderling te vergelijken. Dit is echter niet op een zinnige manier mogelijk. Er kan namelijk pas geconcludeerd worden dat het ene wegtype veiliger is dan het andere als de ongevallendichtheid lager is en alle andere kenmerken gelijk zijn. Voor een vastgekozen weglengte kunnen weliswaar in een grafiek de ongevallendichtheden van zowel enkel- als dubbelbaanswegen uitgezet worden tegen de intensiteit en kunnen waarden bij een gelijke uurintensiteit vergeleken worden, maar aangezien de uurintensiteit voor dubbelbaanswegen veel hoger is dan die voor enkelbaanswegen in hetzelfde uur, hebben de wegtypen nooit een gelijke uurintensiteit in hetzelfde uur. Conclusies die wel getrokken kunnen worden, zijn dan van het type "dubbelbaanswegen hebben een lager risico tussen 8.00 en 9.00 uur dan enkelbaanswegen tussen 14.00 en 15.00 uur." maar deze conclusies zijn niet zo interessant.

4.4. Nabeschuiving

In dit hoofdstuk zijn de gevonden modellen voor het stadsgewest Haaglanden en de provincies Gelderland en Noord-Holland besproken. Een volgende stap zou zijn om al deze modellen met elkaar te vergelijken. Dit gaat echter niet, omdat deze modellen en de gegevensbestanden waarop ze zijn gebaseerd, wezenlijk van elkaar verschillen.

Het meest in het oog springende verschil is dat voor Noord-Holland uurintensiteiten zijn gebruikt en voor Haaglanden en Gelderland etmaal-

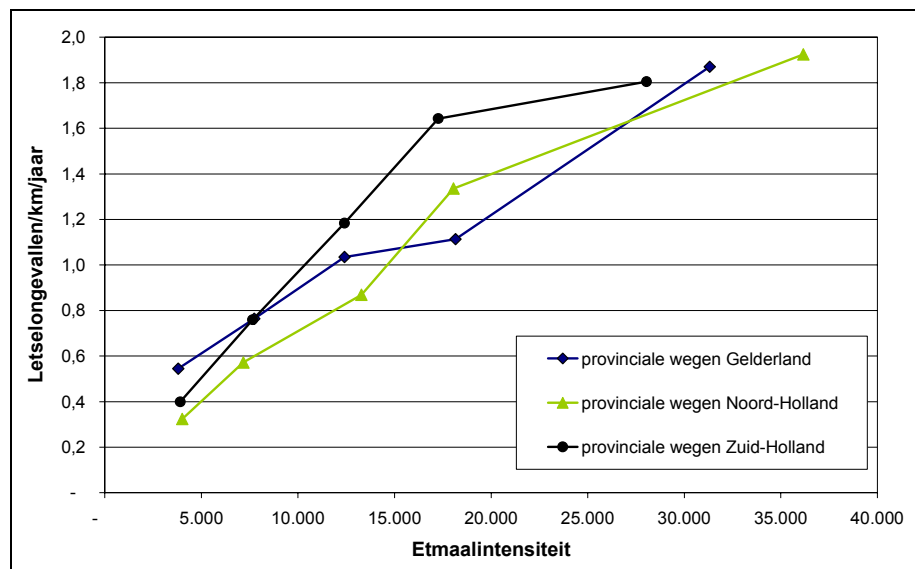
intensiteiten. Dit verschil zou opgeheven kunnen worden door ook voor Noord-Holland de etmaalintensiteiten te berekenen uit de uurintensiteiten. Het probleem is echter dat er voor Noord-Holland slechts 26 gedeelten van enkel- en 24 gedeelten van dubbelbaanswegen beschikbaar zijn. Dit zijn er te weinig om goed passende modellen te maken. Om een idee te geven van het verband tussen de onveiligheid van deze weggedelen en hun gemiddelde etmaalintensiteit, zijn in *Afbeelding 4.9* voor beide wegtypen de ongevallendichtheden tegen de etmaalintensiteit uitgezet. Het dubbelbaanse weggedeel met een extreme ongevallendichtheid van 340 ongevallen per kilometer is weggelaten uit deze afbeelding. Het is duidelijk zichtbaar dat met name de spreiding voor de dubbelbaanswegen erg groot is. Het is onmogelijk een goede vergelijking met de provinciale wegen in Gelderland te maken. *Afbeelding 4.9* geeft wel aanleiding voor de wegbeheerder om nader naar bepaalde weggedelen te kijken, namelijk die met een relatief hoge ongevallendichtheid. Interessant is om te onderzoeken op welke kenmerken deze weggedelen afwijken van de andere weggedelen, wat misschien de oorzaak is dat de ongevallendichtheid zo hoog is.



Afbeelding 4.9. De geobserveerde ongevallendichtheden over zeven jaar voor provinciale enkel- en dubbelbaans wegen in Noord-Holland.

De modellen voor Haaglanden en Gelderland zijn wel gebaseerd op gemiddelde etmaalintensiteiten. Toch zijn ook deze modellen niet met elkaar te vergelijken omdat de gegevensbestanden daarvoor te veel verschillen. Een eerste verschil is dat het gegevensbestand voor Haaglanden voornamelijk bestaat uit wegen binnen de bebouwde kom. Het is eventueel wel mogelijk de modellen voor wegen die buiten de bebouwde kom liggen, te vergelijken met de modellen voor provinciale wegen in Gelderland. Daarvoor zouden echter alleen die wegen in Haaglanden gebruikt mogen worden die sterk lijken op de provinciale wegen in Gelderland. Daar zijn er echter te weinig van om goed passende modellen op te baseren. Een ander, net zo belangrijk verschil tussen de databestanden is dat in het bestand van Haaglanden de gegevens niet per weggedeel, maar per rijbaandeeel zijn geregistreerd. De modellen in Haaglanden zeggen daarom iets over de veiligheid van rijbanen en niet van wegen, zoals de modellen voor Gelderland.

Ondanks de hierboven beschreven problemen zijn de provinciale wegen van Gelderland en Noord-Holland met elkaar vergeleken om een indruk te krijgen in hoeverre de verbanden tussen intensiteit en ongevallendichtheid met elkaar overeenkomen. Voor beide provincies zijn alle wegdelen (dus enkel- en dubbelbaanswegdelen) verdeeld over vijf intensiteitsklassen, en voor elke klasse is de totale weglengte, het gemiddelde aantal letselongevallen per jaar en de gemiddelde etmaalintensiteit berekend. Het resultaat wordt weergegeven in *Afbeelding 4.10*, waarin de ongevallendichtheden voor één jaar zijn uitgezet tegen de etmaalintensiteit. In deze afbeelding zijn ook de provinciale wegen in Zuid-Holland opgenomen. Informatie voor deze wegen kwam beschikbaar aan het einde van het project Infrastructuur en verkeersonveiligheid. Het wekt vertrouwen dat de lijnen voor de drie provincies redelijk dicht bij elkaar liggen. Maar omdat voor deze grafiek alle provinciale wegen per provincie bij elkaar zijn genomen en er geen rekening is gehouden met verschillen in de gegevensbestanden, kan op basis van deze afbeelding nog niet geconcludeerd worden dat het verband tussen ongevallendichtheid en intensiteit voor de provinciale wegen in de drie provincies hetzelfde is.



Afbeelding 4.10. Illustratie van een vergelijking van provinciale wegen wat betreft het aantal letselongevallen per kilometer weglengte per jaar.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Conclusies

Op basis van de modellen die in dit rapport zijn gepresenteerd en besproken, kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Uit de modellen voor stadsgewest Haaglanden volgt dat:

- de exponent van L niet statistisch significant afwijkt van 1 in de modellen voor alle wegen binnen en buiten de bebouwde kom;
- voor drie van de vier wegtypen het aantal ongevallen eerst toeneemt wanneer de intensiteit toeneemt (bij gelijkblijvende lengte), maar weer afneemt wanneer de intensiteit boven een bepaalde waarde komt;
- het risico op alle onderscheiden wegtypen afneemt bij toenemende intensiteit;
- wegen binnen de bebouwde kom een hoger risico hebben dan wegen buiten de bebouwde kom;
- rijbanen met één rijrichting een lager risico hebben dan rijbanen met twee rijrichtingen.

De modellen voor Gelderland geven aanleiding tot de volgende conclusies:

- de exponent van L wijkt statistisch significant af van 1;
- voor enkel- en dubbelbaanswegen op werk-, weekend- en weekdagen geldt dat het aantal ongevallen toeneemt wanneer de weglengte toeneemt (bij gelijkblijvende intensiteit) en wanneer de intensiteit toeneemt (bij gelijkblijvende weglengte), maar dat de toename minder sterk wordt naarmate de weglengte en intensiteit groter worden;
- over het algemeen hebben de enkelbaanswegen een hoger risico dan dubbelbaanswegen bij gelijke wegdeellengte en intensiteit, behalve dan voor wegdelen met een lengte van 500 m en een intensiteit groter dan 15.222;
- voor enkelbaanswegen is het risico op weekenddagen hoger dan op werkdagen, voor dubbelbaanswegen is het net andersom.

De conclusies die volgen uit de modellen voor Noord-Holland zijn:

- het ongevalrisico is relatief hoog in de nachtelijke uren van weekenddagen;
- het risico neemt op weekenddagen minder snel toe bij groeiende intensiteit dan op werkdagen, zowel voor enkel- als voor dubbelbaanswegen;
- het risico is hoog bij een korte lengte van de weggedeelten (< 500 m) en neemt snel af bij grotere lengten;
- voor enkelbaanswegen is de invloed van de weglengte op het aantal letselongevallen iets kleiner op weekenddagen dan op werkdagen, maar op dubbelbaanswegen is de invloed juist groter;
- het risico voor de enkelbaanswegen wordt sterker beïnvloed door de spitsuren dan het risico voor de dubbelbaanswegen.

5.2. Bespreking

Dat in de regio Haaglanden rijbanen binnen de bebouwde kom een hoger risico hebben dan rijbanen buiten de bebouwde kom, kan verklaard worden

uit het hogere aandeel verkeersdeelnemers in de categorie langzaam verkeer: bromfietzers, fietsers en voetgangers.

Zowel voor Haaglanden als voor Gelderland geldt dat wegen met een gescheiden rijrichting een lager risico hebben dan wegen zonder gescheiden rijrichting. Dit is in lijn met de verwachting, aangezien rijbanen met twee rijrichtingen bij dezelfde intensiteit meer potentiële conflicten hebben tussen de tegengestelde richtingen van de verkeersstromen dan de rijbanen met slechts één rijrichting. Dit sluit ook aan bij het Duurzaam Veilig-principe.

Verklaringen voor de verschillen tussen de risico's op werkdagen en weekenddagen in Gelderland zouden gezocht kunnen worden in de samenstelling van het verkeer (op weekenddagen minder vrachtverkeer) en in ritmotieven en daarbij veronderstelde verschillen in rijgedrag. Maar omdat het verschil voor enkelbaanswegen tegengesteld is aan dat voor dubbelbaanswegen, zijn deze veronderstellingen niet aannemelijk. Het zou kunnen dat de grotere onzekerheid binnen de analysesresultaten bij de dubbelbaanswegen vanwege het kleine aantal, het verschil met de meer stabiele resultaten bij de enkelbaanswegen verklaart.

Voor alle wegtypen in Haaglanden geldt dat de exponent van L niet statistisch significant afwijkt van 1, wat wil zeggen dat er op een rijbaan die twee keer zo lang is als een andere rijbaan maar met dezelfde intensiteit, twee maal zoveel ongevallen gebeuren. Voor Gelderland en Noord-Holland is in alle modellen de exponent van L significant kleiner dan 1, waaruit volgt dan de invloed van de weglengte op het aantal ongevallen afneemt wanneer de weglengte toeneemt. Deze twee resultaten lijken elkaar tegen te spreken, maar vanuit de opzet van de gegevensbestanden kan wel een mogelijke verklaring gegeven worden.

Omdat de kruispuntongevallen aan een rijbaanvak zijn toegekend, zouden korte rijbanen onder een grotere invloed staan van kruispunten dan langere rijbanen. Daarom zou de exponent van L naar verwachting kleiner moeten zijn dan 1, wat voor de modellen voor Gelderland inderdaad het geval is. Dat dat in Haaglanden niet het geval is, zou kunnen komen doordat de modellen ontwikkeld zijn op basis van samengestelde rijbanen. Zo'n samengestelde rijbaan kan bestaan uit korte en lange rijbaanvakken, waardoor het aantal kruispunten per kilometer voor alle samengestelde rijbaanvakken veel dichterbij elkaar is komen te liggen dan voor de individuele rijbaanvakken het geval was.

De invloed van kruispunten op kortere wegvakken speelt ook een rol in de verklaring voor het hogere risico van korte dubbelbaanswegen (500 m) met een hoge etmaalintensiteit (> 15.222). Deze dubbelbaanswegen worden namelijk verondersteld voornamelijk in stedelijke gebieden te liggen en hebben daardoor meer potentiële conflicten als gevolg van afslaand verkeer dan enkelbaanswegen.

Het hoge risico in de nachtelijke uren in het weekend op provinciale wegen in Noord-Holland is waarschijnlijk het gevolg van alcoholgebruik en vermoeidheid.

Om op basis van de modellen voor Noord-Holland te kunnen concluderen dat dubbelbaanswegen een lager ongevalrisico per uur hebben dan

enkelbaanswegen, moet het risico in een bepaald uur voor beide wegtypen bij gelijke weglengte en gelijke intensiteit vergeleken worden. Dat is echter met deze gegevens niet mogelijk, omdat er geen of weinig geschikte combinaties zijn die voor beide wegtypen gelijk zijn.

5.3. Praktisch nut van ongevallenmodellen voor wegbeheerders

Wegbeheerders zouden ongevallenmodellen kunnen gebruiken om het veiligheidsniveau van hun wegen te onderzoeken. Met een geschikt ongevallenmodel kunnen ze schatten hoeveel ongevallen er op een bepaalde weg gebeuren. Dit geschatte aantal kan beschouwd worden als het gemiddelde aantal ongevallen op een verzameling wegvakken die qua wegkenmerken en intensiteit erg lijken op de te onderzoeken weg. Wanneer dit geschatte aantal lager is dan het werkelijke aantal, kan de weg als relatief onveilig worden beschouwd.

Om uit te sluiten dat het geschatte en het werkelijke aantal ongevallen door toeval van elkaar verschillen, is een statistische test nodig. Wood (2005) geeft het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de voorspellingen die volgen uit gegeneraliseerde lineaire modellen. Het interval voor voorspellingen op basis van de negatief binomiale verdeling is:

$$\left(0, \left\lfloor \hat{\mu}_i + \sqrt{19} \sqrt{\hat{\mu}_i^2 \text{Var}(\hat{\eta}_i) + \frac{\hat{\mu}_i^2 \text{Var}(\hat{\eta}_i) + \hat{\mu}_i^2}{\hat{\nu}}} + \hat{\mu}_i \right\rfloor \right),$$

waar $\lfloor x \rfloor$ (het gedeelte tussen haken) staat voor het grootste gehele getal kleiner dan of gelijk aan x . Wanneer een geobserveerde waarde van het aantal ongevallen op een bepaalde weg buiten dit interval ligt, dan wijkt het statistisch significant af van de voorspelde waarde, waaruit volgt dat de weg een hoger risico heeft dan op basis van het model verwacht zou worden. De wegbeheerder kan die weg dan nader onderzoeken om een verklaring te vinden voor dat hoge risico om zo het probleem op te lossen. Aangezien de linker grens van het betrouwbaarheidsinterval gelijk is aan 0, kan nooit de conclusie getrokken worden dat een bepaalde weg een lager risico heeft dan op basis van het model verwacht werd.

Ongevallenmodellen kunnen ook gebruikt worden om bepaalde wegtypen met elkaar te vergelijken, zoals in dit rapport is gebeurd. Zo volgde uit de modellen voor Haaglanden en Gelderland bijvoorbeeld dat dubbelbaanswegen over het algemeen een lager ongevallenrisico hebben dan enkelbaanswegen, waaruit de aanbeveling voor wegbeheerders volgt om rijrichtingen te scheiden. Ook is duidelijk dat korte wegvakken onder een grotere invloed staan van kruispunten dan lange wegvakken, dus wegbeheerders zouden kruispunten op korte afstand van elkaar moeten voorkomen.

Door in de toekomst ongevallenmodellen voor meer wegtypen te ontwikkelen, kunnen ook andere wegkenmerken beoordeeld worden op hun invloed op het aantal ongevallen.

5.4. Aanbevelingen voor gegevensbestanden

Met de tot nu beschikbare gegevensbestanden zijn al een paar interessante analyses uitgevoerd. Toch kennen deze analyses een aantal beperkingen, aangezien ieder gegevensbestand net andere gegevens bevat en niet voldoende informatie geeft om een verfijndere indeling in wegtypen te maken. Voor het vervolgonderzoek worden er daarom in deze paragraaf enkele aanbevelingen gedaan voor de opbouw van nieuwe bestanden.

Aangezien het registreren van intensiteiten een tijdrovende klus is, is het aan te raden voorlopig nog bestanden van provinciale wegen te gebruiken waarop permanente verkeerstellingen plaatsvinden. In de in dit rapport besproken analyses is alleen gebruik gemaakt van provinciale wegen buiten de bebouwde kom, maar het zou interessant zijn hier de aansluitende wegen binnen de bebouwde kom aan toe te voegen. Voor de wegen binnen de bebouwde kom zouden ook gegevens over de aanwezigheid en liefst ook over de hoeveelheid langzaam verkeer meegenomen moeten worden.

Uit de gegevens van Noord-Holland blijkt dat uurintensiteiten een goede uitbreiding zijn van het onderzoek naar relaties tussen intensiteiten en ongevallen. Deze informatie geeft een goed inzicht in het verloop van het ongevallenrisico door de dag heen. In vervolgonderzoek zou dus zowel naar etmaal- als naar uurintensiteiten gekeken moeten worden. Beide intensiteitssoorten geven aanleiding tot verschillende typen conclusies, waarvan in de vorige paragraaf enkele voorbeelden zijn gegeven.

Het is aan te bevelen om aan het gegevensbestand meer wegkenmerken toe te voegen die invloed kunnen hebben op de verkeersonveiligheid. Een eerste vereiste is dat in ieder geval verschil wordt gemaakt tussen enkel- en dubbelbaanswegen, aangezien uit de gedane analyses is gebleken dat tussen deze twee wegtypen grote verschillen zitten wat betreft het ongevallenrisico.

In het databestand zouden ook kruisingen opgenomen moeten worden, voorzien van relevante kenmerken en de intensiteiten van de kruisende wegen. Nu worden kruispuntongevallen toegekend aan aanliggende weggedeelten, waardoor de invloed van het type kruispunt verloren gaat.

5.5. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Er kan op twee manieren vervolgonderzoek gedaan worden. Ten eerste kunnen er dezelfde soort modellen ontwikkeld worden als de modellen die besproken zijn in dit rapport, maar dan voor meer wegtypen. In de vorige paragraaf zijn aanbevelingen gedaan voor gegevensbestanden die voor dit vervolgonderzoek gebruikt zouden kunnen worden. Als er genoeg informatie beschikbaar komt over kruispunten, kunnen ook aparte modellen voor kruispunten ontwikkeld worden. Hierdoor kan dan onderzocht worden wat de invloed is van verschillende typen kruispunten op de verkeersonveiligheid. Uiteindelijk is het wenselijk een wegennetwerk te verdelen in aparte wegvakken en kruispunten, en voor elk onderdeel apart het aantal verwachte ongevallen te bepalen.

Het is ook mogelijk net iets andere modellen te ontwikkelen dan in dit rapport. De huidige modellen bevatten alleen de intensiteit en de weglengte

als verklarende variabelen. De reden hiervoor was dat als een model een groot aantal verklarende variabelen bevat, er geen betekenis meer kan worden toegekend aan de parameterschattingen omdat de variabelen ook onderling kunnen samenhangen. Het is zelfs mogelijk dat parameters negatief zijn, terwijl normaal wordt aangenomen dat ze positief zouden moeten zijn, en omgekeerd.

Harwood et al. (2000) hebben dit probleem op een andere manier opgelost. Zij volgen een aantal stappen.

- Eerst wordt er een model ontwikkeld gebaseerd op het zeer uitgebreide gegevensbestand HSIS (Highway Safety Information System). Dit model bevat een aantal verklarende variabelen.
- Dan worden vaste waarden voor de verklarende variabelen ingevoerd in het model. Dit geeft het zogenoemde basismodel. Voor andere waarden van de verklarende variabelen moet het basismodel vermenigvuldigd worden met 'accident modification factors' (AMF's). Zij representeren het effect van individuele kenmerken van wegen en zijn bepaald door twee groepen deskundigen, gebaseerd op hun expertise en hun literatuuronderzoek.
- Op het aantal ongevallen op een wegvak bepaald in de vorige stap, wordt de Empirical Bayes-methode toegepast om het aantal ongevallen op een gegeven wegvak te voorspellen.

Het is interessant om te onderzoeken in hoeverre deze methode ook in Nederland toegepast zou kunnen worden en wat dan de waarden van de 'accident modification factors' zouden zijn.

Het vervolgonderzoek zal in het SWOV-programma 2007-2010 plaatsvinden binnen het onderzoeksprogramma Wegen en verkeer. Eerst zal onderzocht worden of een gegevensbestand zoals HSIS ook voor Nederland geschikt en haalbaar is. Afhankelijk van de uitkomsten van dit onderzoek worden dan zowel ongevallenmodellen als AMF's opgesteld voor diverse wegcategorieën. Het ligt voor de hand eerst ongevallenmodellen zoals in dit rapport te ontwikkelen voor gedetailleerdere wegtypen, waaruit dan het effect van individuele kenmerken op het aantal ongevallen afgeleid kan worden. Deze effecten kunnen dan vertaald worden naar AMF's.

Literatuur

Abbess, C., Jarrett, D. & Wright, C. (1981). *Accident at blackspots: estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the 'regression-to-the-mean' effect*. In: Traffic Engineering and Control, Vol. 22, Nr. 10, p. 535-543.

Harwood, D., Council, F., Hauer, E., Hughes, W. & Vogt, A. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. FHWA-RD-99-207, Office of Safety Research and Development, Federal Highway Administration, McLean, Virginia.

Janssen, S.T.M.C. & Reurings, M.C.B. (2007). *De relatie tussen ongevallen en uurintensiteit op provinciale wegen in Noord-Holland; Intensiteitsmetingen en wegkenmerken van enkelbaans- en dubbelbaanswegen*. R-2006-20, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding.]

Maycock, G. (s.a.). *Generalized linear models in the analysis of road accidents*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

McCullagh, P. & Nelder, J. (1983). *Generalized linear models*. Chapman and Hall, Londen.

Reurings, M.C.B. & Janssen, S.T.M.C. (2007a). *De relatie tussen ongevallen en uurintensiteit op provinciale wegen in Gelderland; Intensiteitsmetingen en wegkenmerken van enkelbaans- en dubbelbaanswegen*. R-2006-21, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding.]

Reurings, M. & Janssen, T. (2007b). *Accident prediction models for urban and rural carriageways; based on data from the Hague region Haaglanden*. R-2006-14. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding.]

Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J. & Stefan, C. (2005). *Accident prediction models and road safety impact assessments: a state-of-the-art*. Deliverable D2.1 of the RIPCoRD-ISEREST project. European Commission, Brussels.

Wood, G. (2005). *Confidence and prediction intervals for generalised linear accident models*. In: Accident Analysis and Prevention, Vol. 37, p. 267-273.