

De analyse van ongeval-, weg-, en verkeerskenmerken van de Nederlandse rijkswegen

Dr. J.J.F. Commandeur, drs. F.D. Bijleveld, dr. ir. L.G. Braimaister & ir. S.T.M.C. Janssen

R-2002-19

**De analyse van ongeval-, weg- en
verkeerskenmerken van de Nederlandse
rijkswegen**

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-2002-19
Titel: De analyse van ongeval-, weg- en verkeerskenmerken van de Nederlandse rijkswegen
Auteur(s): Dr. J.J.F. Commandeur, drs. F.D. Bijleveld, dr. ir. L.G. Braimaister & ir. S.T.M.C. Janssen
Onderzoeksthema: Strategie voor een veilige weginfrastructuur
Themaleider: Ir. S.T.M.C. Janssen
Projectnummer SWOV: 33.410

Trefwoord(en): Program (computer), evaluation (assessment), data bank, safety, analysis (math), improvement, risk, accident rate, traffic concentration, statistics, motorway, Netherlands.

Projectinhoud: Bij deze studie naar de verkeersonveiligheid op de Nederlandse rijkswegen is gebruikgemaakt van een relationele database die het verkeersadviesbureau VIA heeft opgezet. Deze bevat informatie over ongeval-, weg- en verkeerskenmerken. Het adviesbureau VIA heeft het programma ARLI ontwikkeld om rijkswegbeheerders inzicht te verschaffen in de verkeersveiligheid van bepaalde typen rijkswegen, alsook om mogelijke effecten van infrastructurele maatregelen en/of van veranderingen in het verkeersaanbod op de verkeersveiligheid te kunnen bepalen.

In dit rapport wordt het programma ARLI kritisch onder de loep genomen, en worden een aantal aanbevelingen gedaan om het programma te verbeteren. Deze aanbevelingen hebben betrekking op twee aspecten van het programma: de kwaliteit van de gegevens, en de in ARLI geïmplementeerde veiligheidsanalyses op deze gegevens.

Aantal pagina's: 58 + 1
Prijs: € 11,25
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 2002

Samenvatting

Deze studie naar de verkeersonveiligheid op de Nederlandse rijkswegen is een onderdeel van het SWOV-onderzoeksthema 'Strategie voor een veilige weginfrastructuur'. Bij de analyses is gebruikgemaakt van de relationele database die het adviesbureau VIA heeft opgezet voor het totale Nederlandse rijkswegennet. Deze database bevat informatie over ongeval-, weg- en verkeerskenmerken. Het adviesbureau VIA heeft het programma ARLI ontwikkeld om rijkswegbeheerders inzicht te verschaffen in de verkeersveiligheid van bepaalde typen rijkswegen, alsook om mogelijke effecten van infrastructurele maatregelen en/of van veranderingen in het verkeersaanbod op de verkeersveiligheid te kunnen bepalen.

In dit rapport wordt het programma ARLI kritisch onder de loep genomen, en worden een aantal aanbevelingen gedaan om het programma te verbeteren. Deze aanbevelingen hebben betrekking op twee aspecten van het programma: de kwaliteit van de gegevens, en de in ARLI geïmplementeerde veiligheidsanalyses op deze gegevens.

Het grootste deel van het rapport is gewijd aan de presentatie van twee nieuwe analysemethoden. De eerste methode betreft het statistisch vergelijken van verschillende typen van rijkswegen op hun gemiddelde risicocijfer. De tweede methode is gericht op het vaststellen van de aard van de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid binnen een bepaald wegtype. In deze methode, 'klassengebonden regressie' genaamd, wordt het totale intensiteitsbereik van een wegtype in drie klassen ingedeeld: een lage-intensiteitklasse, een middenklasse en een hoge-intensiteitklasse. Per klasse is de relatie tussen verkeersintensiteit en ongevallendichtheid homogeen.

Toepassing van de statistische vergelijking van selecties van autosnelwegen toont onder andere aan dat autosnelwegen met twee rijstroken gemiddeld een significant lager slachtofferongevallenrisico hebben dan die met drie rijstroken. Hetzelfde geldt bij vergelijking van autosnelwegen met twee en vier rijstroken. Het verschil tussen deze risico's op autosnelwegen met drie en vier rijstroken is wel indicatief maar niet significant.

Uit de analyses met klassengebonden regressie blijkt, ongeacht het type autosnelweg, een toename in de intensiteit in de laagste en middelste intensiteitklasse steeds gepaard te gaan met een toename in de slachtofferongevallendichtheid. Deze toename is in de middelste intensiteitklasse echter consequent sterker dan in de laagste intensiteitklasse. De analyses tonen verder aan dat het slachtofferongevallenrisico op alle typen autosnelweg in de laagste intensiteitklasse afneemt naarmate de intensiteit toeneemt. In de middelste intensiteitklasse neemt dit risico bij een toename van de intensiteit daarentegen consequent toe, om in de hoogste intensiteitklasse weer consequent af te nemen.

Autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken blijken onderling met name te verschillen in de sterkte van de zojuist genoemde risicoveranderingen. De risicoveranderingen zijn voor autosnelwegen met drie rijstroken veel geprononceerder dan voor die met twee rijstroken, terwijl met name de

risicostijging in de middelste intensiteitklasse van autosnelwegen met vier rijstroken vele malen sterker is dan die voor de andere twee wegtypen. Bovendien is het gemiddelde risico voor deze klasse op autosnelwegen met vier rijstroken belangrijk hoger dan die op de overige typen autosnelwegen.

Ten slotte worden in het rapport een aantal kanttekeningen geplaatst bij de kwaliteit van de beschikbare weg- en ongevalgegevens, en worden er aanbevelingen gedaan voor het verbeteren van de kwaliteit van deze gegevens, zodat in verder onderzoek ook verklaringen voor de in dit rapport geconstateerde samenhangen kunnen worden aangereikt.

Summary

The analysis of accident, road, and traffic features of the state highways in the Netherlands

This study of the road safety of the state highways in the Netherlands is part of the SWOV research theme 'Strategy for a safe road infrastructure'. The analysis uses the relational database that the VIA transport research company designed for the complete Netherlands state highway network. This database contains information about accident, road, and traffic features. VIA designed the ARLI program to provide the state highway authorities with insight in the safety of certain types of state highways. It also allows them to determine the possible safety effects of infrastructural measures and/or changes in the traffic volumes.

In this report, the ARLI program has been critically examined, and a number of recommendations are made to improve it. These recommendations concern two aspects of the program: the quality of the data, and the implemented safety analyses of this data.

Most of this report is devoted to the presentation of two new analysis methods. The first method concerns the statistical comparison of the average accident rate figure of different types of state highways. The second method is aimed at determining the nature of the relation between the traffic volume and accident density within a particular road type. In this method, called "within-class regression", the total volume range of the road type is divided into three classes: a low-intensity class, a middle-intensity class, and a high-intensity class. Within each class, the relation between traffic intensity and accident density is homogeneous.

Application of the statistical comparison of selections of motorways shows, among other things, that motorways with two lanes have a significantly lower average casualty accident rate than those with three lanes. The same applies to a comparison of motorways with two and four lanes. The difference between these rates on motorways with three and four lanes is not significant, but it is indicative.

The analysis with within-class regression shows that, irrespective of the motorway type, an increase in the traffic volume in the low and middle volume classes is always accompanied by an increase in the casualty accident rate. However, this increase in the middle class is consistently stronger than in the low class.

The analyses further show that the casualty accident rate on all types of motorways in the low class decreases as the volume increases. On the other hand, in the middle class, this rate increases consistently with an increase in the volume. Then again in the high class it consistently decreases.

Motorways with two, three, and four lanes appear to differ especially in the strength of the above-mentioned changes in rate. The changes in rate are much more pronounced for motorways with three lanes than for those with two lanes, whereas the increase in rate in the middle class of four lane motorways is many times stronger than that of the other two road types.

Moreover, the average rate on this class of motorways with four lanes is much higher than that of the other motorway types.

Finally, the report places a number of footnotes concerning the quality of the available road and accident data; recommendations are made for improving the quality of this data so that, in subsequent research, explanations can be given for the relations detected in this report.

Inhoud

Voorwoord	8
1. Inleiding	9
1.1. Achtergrond van het rapport	9
1.2. Onderzoeksgegevens	9
1.3. Doel en methodiek	9
1.4. Indeling van het rapport	10
2. Het programma ARLI	11
2.1. Het databestand	12
2.2. Veiligheidsanalyses	13
2.3. Commentaar op de veiligheidsanalyse	16
3. Het toetsen van verschillen in risico	18
3.1. De centrummaat voor risico: het kencijfer	18
3.2. Een spreidingsmaat voor risico	19
3.3. Betrouwbaarheidsintervallen van een kencijfer	20
3.4. De toets voor het verschil tussen twee kencijfers	21
3.5. Een programmaprototype voor het toetsen van verschillen in risico	21
4. Intensiteitklassen voor de autosnelwegen	25
4.1. Monotone regressie	26
4.2. Klassegebonden regressie	30
5. Toepassingen	39
5.1. Verschiltoetsen voor kencijfers van intensiteitklassen op autosnelwegen	39
5.2. Interpretatie van de verkeersonveiligheid op autosnelwegen	41
5.3. Toetsen voor kencijfers van infrastructurele verschillen op autosnelwegen	51
6. Beperkingen van de data	54
6.1. Ongevallenmerken	54
6.2. Wegkenmerken en beheermerken	54
6.3. Verkeerskenmerken	54
7. Discussie en conclusies	57
Literatuur	60
Bijlage Bewijs van identiteit tussen twee uitdrukkingen voor risico	61

Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van het gezamenlijke werk van de vier auteurs. Drs. F.D. Bijleveld deed de analyses voor het bepalen van homogene intensiteitklassen. Dr. ir. L.G. Braimaister ontwikkelde de toets van risicoverschillen, programmeerde de Windows-applicatie en droeg bij aan de rapportage. Ir. S.T.M.C. Janssen had zowel schriftelijk als in discussies een grote inhoudelijke inbreng (probleemstelling, analyse en commentaar risicocijfers). Dr. J.J.F. Commandeur verzorgde de rapportage.

De auteurs willen graag hun collega Guus Huls bedanken voor het maken van de kaartillustraties.

1. Inleiding

1.1. Achtergrond van het rapport

Binnen het SWOV onderzoeksthema 'Strategie voor een veilige weg-infrastructuur' is een project gedefinieerd voor het ontwikkelen en uittesten van een procedure waarmee verkeers- en vervoersplannen doorgerekend kunnen worden op hun consequenties voor de verkeersveiligheid. Hierbij wordt gepoogd relaties te leggen tussen kenmerken van het wegennet, steeds onderscheiden naar wegtypen, en het aantal verkeersongevallen. Om deze relaties te kunnen leggen is naast de ongevallenregistratie ook behoefte aan informatie over de weglengte, de kruispunt dichtheid naar kruispunttype en de gemiddelde motorvoertuigintensiteit. De relaties met ongevallen en slachtoffers zijn in beginsel statistisch, maar ze kunnen ook wijzen op mogelijke causale verbanden en bieden hiermee informatie voor beleidsadviezen.

1.2. Onderzoeksgegevens

Een goed gedocumenteerde gegevensbank waarin al deze informatie is opgenomen bestaat echter niet, althans nog niet volledig of in een compacte en eenduidige vorm. Voor de rijkswegen zijn bij de SWOV al eerder pogingen ondernomen alle beschikbare weggegevens in één bestand op te nemen. Het koppelen van bestanden van wegkenmerken, ongevalkenmerken en verkeerstellingen leverde tot nu toe echter allerlei problemen op. Onder andere bleek het heel lastig ongevalgegevens te koppelen aan weggegevens die door infrastructurele aanpassingen voortdurend veranderen. Ook een met de tijd toenemende verfijning van het locatienetwerk bemoeilijkte het koppelen van deze gegevens.

Het idee is geopperd samen met een gespecialiseerd bureau een poging te doen bovengenoemde problemen op te lossen. Het Limburgse adviesbureau VIA kwam hiervoor in aanmerking, omdat dit bureau een verkeers-technisch computerprogramma heeft ontwikkeld, Actuele Risicocijfers Limburg (ARLI) geheten, waarin koppelingen zijn gerealiseerd van ongevalkenmerken, wegkenmerken en verkeerskenmerken voor het totale Nederlandse rijkswegennet.

1.3. Doel en methodiek

Dankzij deze koppelingen wordt het mogelijk veiligheidsanalyses uit te voeren van delen van het rijkswegennet. Op grond van weg- en/of verkeerskenmerken kan met ARLI een bepaald wegtype worden geselecteerd, waarna het programma het gemiddelde risico berekent voor het gekozen wegtype. Hiermee kunnen tevens verschillende wegtypen onderling vergeleken worden op hun verkeersveiligheid. Daarnaast biedt het programma de mogelijkheid een inschatting te maken van het effect van een verandering in de verkeersintensiteit en/of in de infrastructuur van een bepaald wegtype op de verkeersveiligheid van dat wegtype.

Tussen het adviesbureau VIA en de SWOV is een samenwerkingsverband tot stand gekomen waarbij de SWOV, in ruil voor een vrij gebruik van de in ARLI aan elkaar gekoppelde bestanden, gevraagd is te beoordelen of de zojuist genoemde veiligheidsanalyses op een statistisch verantwoorde wijze zijn geïmplementeerd.

In dit rapport wordt het programma ARLI kritisch onder de loep genomen en wordt een aantal aanbevelingen gedaan om het programma te verbeteren. Deze aanbevelingen hebben betrekking op twee aspecten van het programma: de kwaliteit van de gegevens en de in ARLI geïmplementeerde veiligheidsanalyses van deze gegevens. Het grootste deel van het rapport is gewijd aan suggesties voor verbeteringen van deze veiligheidsanalyses.

1.4. Indeling van het rapport

In *Hoofdstuk 2* wordt eerst gedetailleerd beschreven welk soort weg informatie in ARLI kan worden geraadpleegd, welke veiligheidsanalyses met het programma kunnen worden uitgevoerd, en hoe deze analyses in ARLI zijn geïmplementeerd. Vervolgens worden aan het adviesbureau VIA voorstellen gedaan om deze analyses aan te vullen en/of te verbeteren.

Hoewel met het programma ARLI wegtypen kunnen worden geselecteerd en met elkaar vergeleken op hun verkeersveiligheid, ontbreekt in het programma een methode om na te gaan of gevonden verschillen in verkeersveiligheid al dan niet op toeval berusten. In *Hoofdstuk 3* wordt dan ook een methode gepresenteerd waarmee kan worden vastgesteld of de gemiddelde risicocijfers van twee selecties van rijkswegen al dan niet significant van elkaar verschillen.

Bij onderzoek naar het effect van veranderingen in het verkeersaanbod op de verkeersveiligheid van een bepaald type weg dient eerst de aard van de samenhang vastgesteld te worden tussen intensiteit en risico van het onderzochte wegtype. In *Hoofdstuk 4* worden meer genuanceerde methoden besproken om deze samenhang vast te stellen dan de methode die in ARLI voor dat doel wordt gehanteerd. De in dit rapport voorgestelde methoden, monotone en klassengebonden regressie, worden vervolgens gebruikt om de samenhang tussen intensiteit en risico op autosnelwegen te bepalen.

In *Hoofdstuk 5* worden de in Hoofdstukken 3 en 4 ontwikkelde methoden toegepast en gecombineerd om inzicht te krijgen in de veiligheid van de Nederlandse autosnelwegen. In *Hoofdstuk 6* wordt ten slotte een aantal kanttekeningen geplaatst bij de kwaliteit van de beschikbare weg- en ongevalgegevens in ARLI en worden aanbevelingen gedaan voor het verbeteren van de kwaliteit van deze gegevens.

2. Het programma ARLI

Het verkeersadviesbureau VIA heeft een relationele database opgezet waarin de gegevens uit drie voorheen afzonderlijke bestanden aan elkaar zijn gekoppeld. Deze bestanden zijn: het Nederlandse Wegenbestand (NWB), het Inventarisatiebestand Weggegevens (WEGGEG) en het bestand Inschatten Wegvakintensiteiten (INWEVA). Deze bestanden bevatten respectievelijk informatie over ongeval-, weg- en verkeerskenmerken.

Op basis van deze koppeling heeft het adviesbureau VIA voor de Regionale Directie Limburg het programma ARLI (Actuele Risicocijfers Limburg) ontwikkeld. Dit programma bevat informatie over het totale Nederlandse rijkswegennet. Uitsluitend voor de provincie Limburg bevat ARLI daarnaast ook informatie over gebiedsontsluitingswegen en stroomwegen die geen onderdeel uitmaken van het rijkswegennet.

Het programma ARLI is ontwikkeld om Limburgse wegbeheerders inzicht te verschaffen in de verkeersveiligheid van bepaalde typen rijkswegen, alsook om mogelijke effecten van infrastructurele maatregelen en/of van veranderingen in het verkeersaanbod op de verkeersveiligheid te bepalen.

In het bijzonder kunnen in ARLI rijkswegen worden geselecteerd op grond van door de gebruiker zelf op te geven criteria. Voor alle rijkswegen die aan de gevraagde criteria voldoen wordt door het programma een aantal risicocijfers berekend en afgedrukt. Deze risico- of kencijfers zijn op te vatten als maten voor de gemiddelde verkeersveiligheid op de door de gebruiker geselecteerde rijkswegen. Door verschillende typen wegen te selecteren, kunnen met ARLI onder andere verschillende typen rijkswegen onderling worden vergeleken op hun verkeersveiligheid. Daarnaast biedt het programma de mogelijkheid het effect van veranderingen in intensiteit en in infrastructuur op de veiligheid van geselecteerde rijkswegen te onderzoeken.

De verantwoordingsrapportage over het programma ARLI is door het adviesbureau VIA aan de SWOV ter beoordeling voorgelegd. De algemene indruk van de SWOV is dat het programma, met name door de bovengenoemde koppeling van ongeval-, weg- en verkeerskenmerken, belangrijke mogelijkheden biedt, niet alleen voor gebruik door wegbeheerders, maar ook voor verkeersveiligheidsonderzoek. Het programma is echter nog voor verbetering vatbaar, met name wat betreft de (statistische) onderbouwing van uitspraken over gevonden verschillen in risico tussen selecties van wegen en wat betreft het onderzoek naar de samenhang tussen risico en verkeersprestatie.

In dit kader is een samenwerkingsverband tot stand gekomen, waarbij de SWOV het bureau VIA adviseert wat betreft verbeteringen in het maken van risicovergelijkingen, terwijl VIA van zijn kant het programma ARLI aan de SWOV ter beschikking stelt.

Hieronder zal eerst gedetailleerder worden ingegaan op het soort weg-informatie dat in ARLI kan worden geraadpleegd. Daarna worden de in de huidige versie van ARLI geïmplementeerde veiligheidsanalyses besproken. Tenslotte worden suggesties gedaan om deze veiligheidsanalyses aan te vullen en te verbeteren.

2.1. Het databestand

Het programma ARLI bevat gegevens van alle Nederlandse rijkswegen over de jaren 1996, 1997 en 1998. Hiertoe zijn gegevens uit de bestanden NWB, WEGGEG en INWEVA per rijrichting aan elkaar gekoppeld. De koppeling is alleen uitgevoerd voor de hoofdrijbaan van de rijkswegen. Informatie over op- en afritten en verbindingswegen is dus niet in ARLI opgenomen. De gegevens over het meest recente jaar (1998) zijn het meest volledig. Deze worden het presentatiebestand genoemd. De gegevens over alle drie jaren te samen worden het referentiebestand genoemd.

De observatie-eenheid in ARLI is het wegdeel per rijrichting. Een wegdeel is gedefinieerd als een aaneengesloten deel van een wegvak dat over het hele traject dezelfde wegkenmerken vertoont binnen de periode van één jaar. Voor de afzonderlijke rijrichtingen van ieder wegdeel van het Nederlandse rijkswegennet zijn in ARLI –althans voor zover ze bekend zijn– per jaar de volgende gegevens opgenomen:

Ongevallenmerken

- Aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade
- Aantal slachtofferongevallen
- Aantal slachtoffers

Beheermerken

- Provincie
- Directie (Wegbeheerder)
- Dienstkring
- Telvaknummer (Meetlusnummer)
- Wegnummer
- Wegdeelnummer

Wegkenmerken

- Lengte van het wegdeel
- Wegcategorie
- Maximumsnelheid
- Type verharding
- Aantal rijstroken
- Type berm binnen
- Type berm buiten
- Type verlichting
- Type verkeerssignalering

Verkeersmerken

- Etmaalintensiteiten
- Percentage vrachtverkeer

De etmaalintensiteit van een wegdeel is de gemiddelde weekdagintensiteit van het betreffende wegdeel per jaar. De etmaalintensiteiten zijn afkomstig uit het INWEVA-bestand, alwaar ze alleen gegeven zijn voor beide rijrichtingen tezamen. Om toch over een intensiteit per rijrichting te beschikken zijn de intensiteiten in ARLI evenredig verdeeld over de twee rijrichtingen van het betreffende wegdeel. Hierbij worden de intensiteiten uit INWEVA dus simpelweg gehalveerd. In *Hoofdstuk 6* van het huidige rapport worden argumenten aangevoerd waarom deze aanpak intensiteiten over

rijrichtingen te verdelen niet altijd tot de juiste intensiteitscijfers hoeft te leiden.

Door het onderbrengen van al deze gegevens in één gegevensbestand kan worden nagegaan of en in hoeverre weg- en verkeerskenmerken samenhangen met verkeersveiligheid. Een cruciale mogelijkheid van het programma ARLI is dan ook dat veiligheidsanalyses kunnen worden uitgevoerd. In de volgende paragraaf wordt uitgebreid ingegaan op de wijze waarop deze veiligheidsanalyses in ARLI zijn geïmplementeerd.

2.2. Veiligheidsanalyses

In het programma ARLI zijn drie soorten veiligheidsanalyse geïmplementeerd. Door de makers van het programma worden deze respectievelijk selectie, prognose en ombouw genoemd. Deze zullen nu achtereenvolgens één voor één worden besproken.

Selectie

Bij een selectie kan de gebruiker de verkeersveiligheid van een bepaald type rijksweg laten berekenen door specifieke categorieën van de in de vorige paragraaf beschreven beheerkenmerken, wegkenmerken en verkeerskenmerken te selecteren. Voor alle weggedelen die aan de gekozen criteria voldoen, berekent ARLI de volgende jaarcijfers:

- de totale weglengte in kilometers;
- de totale verkeersprestatie;
- het totaal aantal ongevallen;
- het totaal aantal slachtofferongevallen;
- het totaal aantal slachtoffers;
- het ongevalrisico: het aantal ongevallen per miljoen voertuigkilometers;
- het slachtofferongevalrisico: het aantal slachtofferongevallen per miljoen voertuigkilometers;
- het slachtofferrisico: het aantal slachtoffers per miljoen voertuigkilometers.

Bij een selectie worden deze cijfers uitsluitend berekend op grond van de gegevens in het presentatiebestand (d.w.z. van het meest recente jaar). In *Afbeelding 1* is een voorbeeld van de uitvoer van ARLI weergegeven nadat autosnelwegen met twee rijstroken zijn geselecteerd.

Monitorcijfers [Aantal rijstroken]										
Selectie	Code	Omschrijving	Lengte in kilometers	Verkeersprestatie	Ongevallen	Slachtofferongevallen	Slachtoffers	Risicocijfer ongevallen	Risicocijfer Slachtofferongevallen	Risicocijfer slachtoffers
<input type="checkbox"/>	0000001	1 rijstrook	0	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	0000002	2 rijstroken	3885,273	34366,346	11947	1378	2015	0,348	0,04	0,059
<input type="checkbox"/>	0000003	3 rijstroken	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	0000004	4 rijstroken	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	0000005	5 rijstroken	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	00000nb	onbekend	0	0	0	0	0	0	0	0

Afbeelding 1. Illustratie van het resultaat van een selectie in ARLI: kencijfers voor de autosnelwegen met twee rijstroken in 1998.

Aangezien in het ongevalrisico, het slachtofferongevalrisico en het slachtofferrisico zowel weglengte als verkeersintensiteit zijn verdisconteerd,

kunnen deze zogenaamde kencijfers direct worden opgevat als maat voor de verkeersveiligheid op de geselecteerde rijkswegen.

Door in het programma ARLI verschillende typen van rijkswegen te selecteren en hun risicocijfers onderling met elkaar te vergelijken, kan tevens worden nagegaan of een bepaald type rijksweg al dan niet veiliger is dan een ander type rijksweg.

Het effect van een verandering in intensiteit op de verkeersveiligheid (prognose)

ARLI biedt ook de mogelijkheid prognoses te doen over het effect van een verandering in intensiteit op de verkeersveiligheid van een bepaald wegdeel. Dit gaat als volgt in zijn werk. Nadat door de gebruiker een selectie van wegdelen is gemaakt (zie de vorige analyse) met dezelfde wegkenmerken als het onderzochte wegdeel, worden alle wegdelen uit het referentiebestand geselecteerd die aan de wegkenmerken voldoen. Het gaat hierbij om wegdelen uit de jaren 1996, 1997 en 1998.

Deze wegdelen worden door ARLI vervolgens eerst gesorteerd in oplopende volgorde van intensiteit. Daarna worden de aldus gesorteerde wegdelen in twee klassen opgesplitst: een lage en een hoge intensiteitklasse. De onderste helft van de wegdelen wordt in de lage intensiteitklasse ingedeeld, en de bovenste helft in de hoge intensiteitklasse. Merk op dat er bij deze *indeling* geen rekening wordt gehouden met verschillen in lengte tussen de wegdelen. Van ieder van deze twee klassen wordt vervolgens de gemiddelde intensiteitklasse berekend, nu wel gewogen naar weglengte, en de gemiddelde ongevallendichtheid. De gemiddelde ongevallendichtheid per klasse is gelijk aan de som van het aantal ongevallen op de wegdelen in die klasse gedeeld door de som van de lengtes van de betreffende wegdelen. De gemiddelde intensiteit en de gemiddelde ongevallendichtheid van iedere klasse worden vervolgens als coördinaten van een punt uitgezet in een assenstelsel met intensiteit op de X-as en ongevallendichtheid op de Y-as. De richtingscoëfficiënt van de twee rechte lijnen die worden verkregen door deze twee punten met de oorsprong te verbinden geeft het ongevalrisico aan van de twee intensiteitklassen. De richtingscoëfficiënt van ieder van deze lijnen is immers gelijk aan de gemiddelde ongevallendichtheid in de betreffende klasse gedeeld door de gemiddelde intensiteit.

Door de twee klassenpunten wordt een rechte lijn getrokken. De richtingscoëfficiënt van deze zogenaamde kencijferlijn geeft voor de geselecteerde wegdelen aan hoe ongevallendichtheid en intensiteit met elkaar samenhangen.

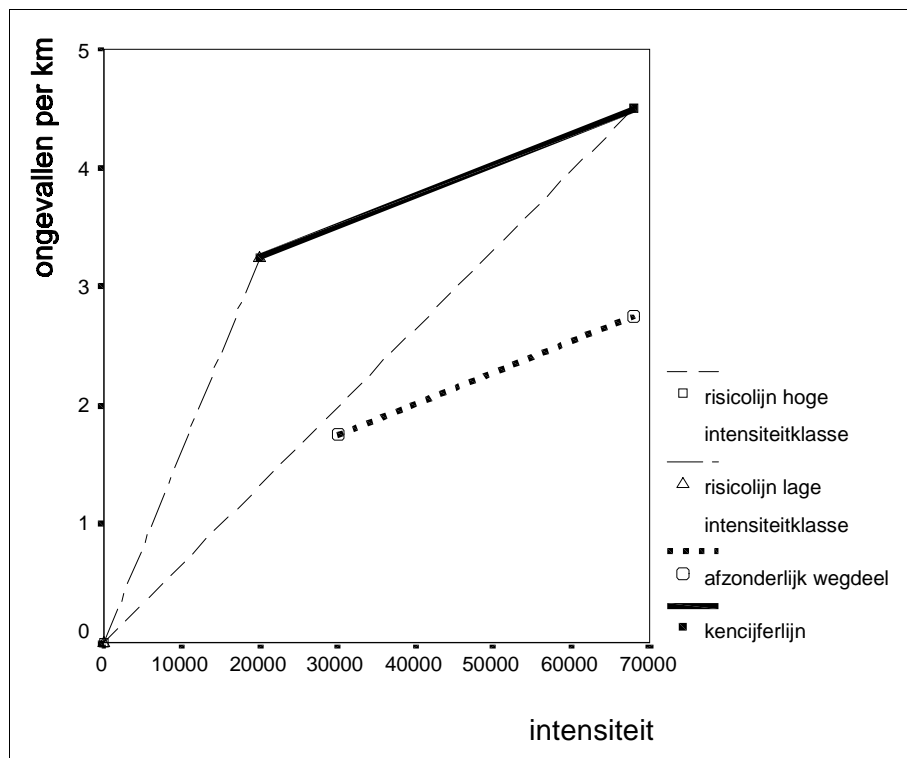
Het effect van een toename in intensiteit op een willekeurig wegdeel uit de selectie wordt ten slotte in ARLI bepaald door de ongevallendichtheid en de intensiteit van dat wegdeel als punt uit te zetten in bovengenoemd assenstelsel en vervolgens door dit punt een rechte lijn te trekken evenwijdig aan de kencijferlijn. Met behulp van deze laatste lijn kan nu voor dit specifieke wegdeel afgelezen worden met welke ongevallendichtheid een bepaalde intensiteitverandering gepaard zal gaan.

Deze methode is geïllustreerd in *Afbeelding 2*. De doorlopende lijn is de kencijferlijn van een selectie van wegdelen. De kencijferlijn is bepaald door de twee punten met coördinaten (20.000, 3,25) en (68.000, 4,50) met elkaar te verbinden. Dit zijn de gemiddelde intensiteiten en ongevallendichtheden van de in twee intensiteitklassen ingedeelde wegdelen.

Eén van de geselecteerde wegdelen heeft een etmaalintensiteit van 30.000 voertuigen en een ongevallendichtheid van 1,75 ongevallen per kilometer. Dit is het punt met coördinaten (30.000, 1,75) in *Afbeelding 2*. Om na te

gaan met welke ongevallendichtheid een toename van de intensiteit van 30.000 naar 68000 voertuigen op dit wegdeel gepaard zal gaan, wordt de onderbroken lijn door het punt (30.000, 1,75) getrokken evenwijdig aan de kencijferlijn. Voor dit wegdeel is de prognose dat een toename in intensiteit van 30.000 naar 68.000 voertuigen gepaard zal gaan met een toename in ongevallendichtheid van 1,75 ongevallen naar 2,74 ongevallen per kilometer.

Ten slotte zijn in *Afbeelding 2* ook de twee risicolijnen van de twee intensiteitklassen weergegeven. De richtingscoëfficiënt van ieder van deze twee lijnen geeft het ongevalrisico weer van de corresponderende intensiteitklasse. Voor de laagste intensiteitklasse is dit risico gelijk aan 3,25/20.000, voor de hoogste intensiteitklasse is het risico 4,5/68.000.



Afbeelding 2. Illustratie van een prognose in ARLI.

Het effect van een infrastructurele verandering op de verkeersveiligheid (ombouw)

Verder biedt ARLI de mogelijkheid een inschatting te maken van het effect van een infrastructurele aanpassing op de verkeersveiligheid. Dit type analyse wordt in ARLI ombouw genoemd. Ook hierbij dient de gebruiker eerst een selectie van wegdelen te maken. Tevens dient de gebruiker aan te geven van welke infrastructurele veranderingen het effect moet worden bepaald (bijvoorbeeld: het ombouwen van de geselecteerde wegdelen van asfalt naar ZOAB en van onverlicht naar verlicht). Vervolgens berekent ARLI op grond van de informatie over de geselecteerde wegdelen in het referentiebestand de ongevallendichtheid na ombouw. Hoe dit precies in zijn werk gaat wordt beschreven in VIA (2001), maar valt buiten het bestek van dit rapport.

Het effect van het ombouwen van geselecteerde wegdelen op de verkeersveiligheid kan tenslotte in ARLI ook opgevraagd worden in combinatie met een verandering in intensiteit op de geselecteerde wegdelen.

2.3. Commentaar op de veiligheidsanalyse

Een belangrijk voordeel van de koppeling van weg- en ongevalkenmerken in ARLI is dat hiermee de verkeersveiligheid in termen van risico voor allerlei wegtypen kan worden bepaald. Tegen de hierboven geschetste en in ARLI geïmplementeerde veiligheidsanalyses is echter ook een aantal bezwaren aan te voeren. Deze bezwaren vallen in twee algemene categorieën uiteen.

Het eerste algemene probleem is dat in ARLI weliswaar kan worden nagegaan of een bepaald wegtype gemiddeld met meer of minder risico gepaard gaat dan een ander wegtype, maar dat het programma geen mogelijkheden biedt te toetsen of een eventueel gevonden verschil in gemiddeld risico ook statistisch significant is, dan wel op puur toeval berust.

Ten tweede valt de manier waarop in de prognosefase van de veiligheidsanalyse de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid wordt vastgesteld op een aantal punten te verbeteren. In ARLI wordt deze samenhang uitgedrukt in een kencijferlijn. Deze kencijferlijn wordt verkregen door geselecteerde wegdelen in twee intensiteitklassen in te delen en, vervolgens, alleen de gemiddelde intensiteiten en ongevallendichtheden in die twee klassen te gebruiken als maat voor de samenhang. Hiertegen zijn de volgende bezwaren aan te voeren:

- Bij het indelen van de geselecteerde wegdelen in twee intensiteitklassen wordt geen rekening gehouden met de weglengte van de wegdelen.
- In plaats van het indelen van de geselecteerde wegdelen in twee klassen zou de kencijferlijn ook bepaald kunnen worden door middel van een lineaire regressieanalyse van de intensiteiten en ongevallendichtheden van de afzonderlijke wegdelen. Hiermee zou beter rekening worden gehouden met individuele verschillen in de geselecteerde wegdelen. Tevens kan in dit geval worden nagegaan hoe goed de kencijferlijn de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid van de geselecteerde wegdelen verklaart (door middel van een toets op de correlatiecoëfficiënt).
- Daarnaast is nog maar de vraag of de relatie tussen intensiteit en ongevallendichtheid lineair is. Ook dit zou door middel van een regressieanalyse kunnen worden vastgesteld.
- Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat het referentiebestand in principe drie waarnemingen per wegdeel bevat (namelijk voor ieder jaar één waarneming) die meestal alleen op ongevalgegevens en intensiteitgegevens van elkaar verschillen. Voor geselecteerde wegdelen zou dus per jaar een kencijferlijn kunnen worden bepaald. Wellicht zou beter aan de hand van deze drie schattingen tezamen een algemene kencijferlijn kunnen worden bepaald.
- Prognoses in ARLI gaan ervan uit dat een bepaalde toename in intensiteit ook hetzelfde effect heeft op de veiligheid van wegdelen: een wegdeel met nauwelijks ongevallen wordt relatief vele malen gevaarlijker terwijl een wegdeel met een groot aantal ongevallen relatief onveranderd blijft. De vraag is of dit wel realistisch is. Er zou overwogen kunnen worden het effect relatief te maken.

- Onduidelijk is hoe het snijpunt van de kencijferlijn met de Y-as moet worden geïnterpreteerd (de ongevallendichtheid zonder verkeer).

Door de SWOV is op twee manieren tegemoet gekomen aan bovenstaande bezwaren. Ten eerste wordt in dit rapport een methode gepresenteerd die het mogelijk maakt vast te stellen of een gevonden risicoverschil tussen twee wegtypen al dan niet op toeval berust. Deze methode wordt in *Hoofdstuk 3* besproken en toegelicht.

Ten tweede wordt in dit rapport een meer genuanceerde methode voorgesteld om de samenhang tussen intensiteit en verkeersveiligheid op auto-snelwegen te bepalen. Dit wordt in *Hoofdstuk 4* besproken.

Ten slotte wordt in *Hoofdstuk 5* onder andere besproken welke gevaren er kleven aan de interpretatie van risicoverschillen die gekoppeld zijn aan infrastructurele verschillen, zoals dit in de ombouwanalyses in ARLI wordt gehanteerd.

3. Het toetsen van verschillen in risico

In dit hoofdstuk wordt een toets gepresenteerd waarmee kan worden nagegaan of een waargenomen verschil in risico op twee selecties van weggedelen ook statistisch significant is.

Hiertoe zal hieronder eerst worden ingegaan op de statistische eigenschappen van een risico- of kencijfer, zoals dat onder andere in ARLI wordt berekend. Vervolgens wordt besproken hoe deze eigenschappen op vrij natuurlijke wijze leiden tot een speciale spreidingsmaat voor risico. Tot nu toe was het niet duidelijk hoe een spreidingsmaat voor risico er uit zou moeten zien. In ARLI is het op dit moment dan ook niet mogelijk de spreiding in risico van geselecteerde weggedelen op te vragen, terwijl deze statistiek wel noodzakelijk is voor het opzetten van een toets voor het verschil tussen twee kencijfers. Daarna komt de eigenlijke toets aan bod. Tenslotte wordt het bij de SWOV ontwikkelde programma besproken waarmee deze toets kan worden uitgevoerd.

3.1. De centrummaat voor risico: het kencijfer

In de statistiek zijn er twee belangrijke maten waarmee een reeks van waarnemingen zoals temperatuur, lengte en risico kernachtig kunnen worden samengevat. De eerste is de centrummaat, de tweede de spreidingsmaat. De centrummaat geeft voor een reeks van waarnemingen aan waar het centrum van de waarnemingen zich bevindt (of: rond welke waarde de waarnemingen gegroepeerd zijn). De spreiding geeft vervolgens aan in welke mate de waarnemingen afwijken van dit centrum. De bekendste centrummaat is het rekenkundig gemiddelde. De bekendste spreidingsmaat is de standaarddeviatie of -afwijking.

In ons geval bestaan de waarnemingen uit risico's, voor ieder wegdeel één. Voor één wegdeel is het risico gedefinieerd als de waargenomen schade gedeeld door de waargenomen expositie. In formulevorm is het risico van één wegdeel i dus gelijk aan

$$\frac{S_i}{E_i}, \quad (1)$$

waarbij

- S_i de schade is op wegdeel i , uitgedrukt in jaarlijks waargenomen ongevallenfrequentie, slachtofferfrequentie of materiële schade, en
- E_i de waargenomen expositie is op wegdeel i .

De waargenomen expositie wordt hierbij berekend als 365 maal de gemiddelde etmaalintensiteit \bar{I}_i maal de weglengte L_i , dus als

$$E_i = (365)(\bar{I}_i)(L_i). \quad (2)$$

Hierbij wordt de lengte L_i uitgedrukt in miljoen kilometers. Bij N weggedelen (met $i = 1, \dots, N$) wordt als centrummaat voor het risico het bekende kencijfer gehanteerd, hier aangegeven met de letter K . Het kencijfer voor risico is als volgt gedefinieerd:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N E_i}. \quad (3)$$

Dit kencijfer is *niet* het gewone rekenkundig gemiddelde van de afzonderlijke risico's want in dat geval zou het als volgt worden berekend:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{E_i}. \quad (4)$$

Formule 4 is geen goede schatter voor het centrum van de verdeling van risicocijfers omdat het risico van een kort wegdeel met weinig verkeer en weinig schade in deze formule net zo zwaar meetelt als een lang wegdeel met een hoog verkeersaanbod en veel schade.

In tegenstelling tot (4) is het kencijfer een *gewogen* rekenkundig gemiddelde waarbij ieder wegdeel gewogen wordt voor zijn expositie. Dat het kencijfer inderdaad een gewogen gemiddelde is wordt duidelijk door (3) te schrijven als

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N E_i \frac{S_i}{E_i}}{\sum_{i=1}^N E_i} \quad (5)$$

Het risico van ieder wegdeel wordt dus gewogen (gecorrigeerd) voor zijn expositie: hoe groter de expositie op een wegdeel, des te groter de bijdrage hiervan aan het kencijfer.

3.2. Een spreidingsmaat voor risico

Uit het bovenstaande volgt dat de spreiding van risicocijfers van wegdelen rond hun kencijfer eveneens als een gewogen standaarddeviatie moet worden berekend, en wel volgens de volgende formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N E_i \left(\frac{S_i}{E_i} - K \right)^2}{\sum_{i=1}^N E_i}}, \quad (6)$$

waarbij K gedefinieerd is als in (3).

3.3. Betrouwbaarheidsintervallen van een kencijfer

In de praktijk worden het kencijfer (3) en de spreiding in (6) steeds berekend op een selectie van wegdelen, oftewel op een steekproef van wegdelen uit de totale populatie van wegdelen. Het kencijfer en de spreiding van risicocijfers rond hun kencijfer kunnen dus opgevat worden als schattingen van het werkelijke kencijfer, respectievelijk de werkelijke spreiding in de totale populatie van wegdelen van een bepaald type. Met deze schattingen kunnen onder andere betrouwbaarheidsintervallen voor kencijfers worden vastgesteld. Hiermee kan met vooraf bepaalde zekerheid worden aangegeven binnen welke marges rond een gevonden steekproefkencijfer het werkelijke kencijfer in de populatie zich bevindt.

De berekening van deze betrouwbaarheidsintervallen is gebaseerd op de (theoretische) verdeling van kencijfers die verkregen wordt door meerdere random steekproeven uit de populatie van wegdelen te trekken. Uit de statistiek is bekend dat deze verdeling van steekproefkencijfers een normale verdeling benadert als de steekproefgrootte toeneemt, zelfs als de risicocijfers zelf niet normaal verdeeld zijn. De beste schatter voor de standaardafwijking van deze verdeling van steekproefkencijfers is gelijk aan

$$s_K = \frac{s}{\sqrt{N}}, \quad (7)$$

met s als in (6) berekend.

Bij kleine steekproeven (zeg $N < 100$) kan het betrouwbaarheidsinterval van het kencijfer uit een steekproef bepaald worden met de formule

$$K \pm t_\alpha \frac{s}{\sqrt{N}}, \quad (8)$$

waarbij t_α uit een tabel voor t -verdelingen kan worden afgelezen. Het getal α geeft de mate van onzekerheid aan die we nog bereid zijn toe te staan. Meestal wordt gekozen voor een waarde van $\alpha = 0,05$, waarbij dan een 95% betrouwbaarheidsinterval wordt verkregen. Het aantal vrijheidsgraden van de gezochte t -waarde is gelijk aan $N-1$.

Bij grotere steekproeven ($N \geq 100$) kan uitgegaan worden van een normale verdeling van de kencijfers, zodat t_α dan vervangen kan worden door de z -score die hoort bij de gezochte mate van onzekerheid. Bij $\alpha = 0,05$ hoort een z -score van 1,96, zodat formule (8) dan verandert in

$$K \pm 1,96 \frac{s}{\sqrt{N}}, \quad (9)$$

Ter illustratie: voor de $N = 10.714$ wegdelen uit 1996 die tot de autosnelwegen met twee rijstroken worden gerekend, is het kencijfer (3) voor de slachtofferongevallen gelijk aan 0,047. De standaarddeviatie (6) in deze steekproef van 10.714 wegdelen is gelijk aan 0,152. Uit (9) volgt dat het kencijfer in de populatie zich met 95% zekerheid bevindt tussen de waarden $(0,047 - (1,96)(0,152)/\sqrt{10714})$ en $(0,047 + (1,96)(0,152)/\sqrt{10714})$, oftewel tussen de waarden 0,0442 en 0,0499.

3.4. De toets voor het verschil tussen twee kencijfers

Als kencijfers worden berekend voor twee verschillende selecties van wegdelen, dan geldt dat de verdeling van verschillen tussen twee kencijfers voor random steekproeven uit de twee populaties eveneens dicht bij een normale verdeling benadert, naarmate de grootte van de steekproeven toeneemt. Als het aantal wegdelen N_1 en N_2 in de twee selecties maar groot genoeg is (zeg $N_1 \geq 30$ en $N_2 \geq 30$), en onder de aanname dat de twee selecties van wegdelen random getrokken zijn uit hun respectievelijke populaties, dan kan het verschil tussen de twee kencijfers getoetst worden door middel van de volgende t -toets:

$$t_{obs} = \frac{K_1 - K_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}. \quad (10)$$

In deze formule zijn K_1 en K_2 de kencijfers van de twee selecties van wegdelen, en s_1 en s_2 de met formule (6) berekende standaarddeviaties binnen de twee selecties van wegdelen.

Hanteren we bijvoorbeeld een significantieniveau van 5%, en de volgende twee hypothesen

$$\begin{aligned} H_0 : K_1 &= K_2 \\ H_1 : K_1 &\neq K_2 \end{aligned}$$

dan is de tweezijdige toets significant wanneer gevonden wordt dat $|t_{obs}| \geq 1,96$; het absolute verschil tussen de twee kencijfers K_1 en K_2 is dan significant op 5%-niveau. Als echter gevonden wordt dat $|t_{obs}| < 1,96$, dan luidt de conclusie dat de kencijfers niet van elkaar verschillen, en dat de twee onderzochte wegtypen dus even (on)veilig zijn.

In principe zouden ook éézijdige toetsen kunnen worden uitgevoerd voor de volgende hypothesen:

$$\begin{aligned} H_0 : K_1 - K_2 &\leq 0 & \text{of} & & H_0 : K_1 - K_2 &\geq 0 \\ H_1 : K_1 - K_2 &> 0 & & & H_1 : K_1 - K_2 &< 0 \end{aligned}$$

Bij deze toetsen horen andere, minder stringente kritieke waarden voor t_{obs} . Bij het geautomatiseerd toetsen van risicoverschillen is er echter voor gekozen steeds de tweezijdige toets te hanteren omdat deze conservatiever, en dus voorzichtiger is.

3.5. Een programmaprototype voor het toetsen van verschillen in risico

Bij de SWOV is een programmaprototype ontwikkeld waarmee de toets uit *Paragraaf 3.4* voor het verschil tussen twee kencijfers geautomatiseerd kan worden uitgevoerd. Het prototype is geprogrammeerd als een Windows-applicatie, en maakt gebruik van de in *Paragraaf 2.1* beschreven gegevens uit het volledige referentiebestand van ARLI (met uitzondering van de beheerkenmerken, die niet door VIA werden meegeleverd). In het prototype wordt risico uitgedrukt in slachtofferongevallenrisico. Het prototype is met name ontwikkeld om de voorgestelde toetsprocedure te kunnen testen, en

eventuele aanbevelingen te kunnen doen voor het implementeren van de toetsprocedure in ARLI en andere, soortgelijke analyseprogramma's. In *Afbeelding 3* is het Windows-scherm weergegeven waarmee het bij de SWOV ontwikkelde prototype wordt aangestuurd. Links in het scherm kan de gebruiker twee selecties van wegdelen maken door de gewenste wegen verkeerskenmerken aan te klikken in de kolommen met de kop '1' en '2'. Tevens kunnen de selecties beperkt worden tot een zelf opgegeven range van etmaalintensiteiten. In *Afbeelding 3* bestaat de eerste selectie (in de kolommen met een '1' erboven) uit de autosnelwegen met twee rijstroken in 1996, en de tweede selectie (in de kolommen met een '2' erboven) uit dezelfde wegdelen in 1997. In het voorbeeld in *Afbeelding 3* zijn geen beperkingen aan de etmaalintensiteiten opgelegd.

WEGTYPE 1010		AANTAL RIJSTROKEN 1014			
1	2	1	2	1	2
<input type="checkbox"/> 0-onbekend	<input type="checkbox"/> 0-onbekend	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 2	Aantal	10714 14505
<input checked="" type="checkbox"/> 1-autosnelweg	<input checked="" type="checkbox"/> 1-autosnelweg	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 3	Lengte	2909.591 3882.730
<input type="checkbox"/> 3-autoweg	<input type="checkbox"/> 3-autoweg	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 4	Gemid. Intensiteit	23406.48913 23369.69675
<input type="checkbox"/> 5-gesl. verkl. langz.	<input type="checkbox"/> 5-gesl. verkl. langz.	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 5	Intensiteit, st. afwijking	12587.42836 12118.89800
<input type="checkbox"/> 6-hoofdrijb. gest. verkl.	<input type="checkbox"/> 6-hoofdrijb. gest. verkl.	<input type="checkbox"/> H-2 Niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> H-2 Niet in WEGGEG	Intensiteit range	min 2967.000 min 3236.000
<input type="checkbox"/> 7-gemengd verkeer	<input type="checkbox"/> 7-gemengd verkeer	<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend	max	86489.000 max 89153.000
<input type="checkbox"/> H-2 niet in Weggeg	<input type="checkbox"/> H-2 niet in Weggeg	VERLICHTING 1015		MVTKM, miljoen	24857.70819 33119.45128
SNELHEID 1010		<input type="checkbox"/> 0001 lijn verlichting	<input type="checkbox"/> 0001 lijn verlichting	Prestatieratio 1/2	0.750
<input type="checkbox"/> 10 km/uur	<input type="checkbox"/> 10 km/uur	<input type="checkbox"/> 0002 mast verlichting	<input type="checkbox"/> 0002 mast verlichting	Ongevalsratio	0.837
<input type="checkbox"/> 100 km/uur	<input type="checkbox"/> 100 km/uur	<input type="checkbox"/> 0003 lijn en mast verlichting	<input type="checkbox"/> 0003 lijn en mast verlichting	Risicoratio	111.60 %
<input type="checkbox"/> 120 km/uur	<input type="checkbox"/> 120 km/uur	<input type="checkbox"/> 0004 tunnelverlichting	<input type="checkbox"/> 0004 tunnelverlichting	Letselongevallen	1161.000 1386.000
<input type="checkbox"/> 30 km/uur	<input type="checkbox"/> 30 km/uur	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	Letselongevallen per km	0.39903 0.35697
<input type="checkbox"/> 40 km/uur	<input type="checkbox"/> 40 km/uur	<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend	Lets ong per miljoen mytkm	0.046 0.041
<input type="checkbox"/> 50 km/uur	<input type="checkbox"/> 50 km/uur	SIGNALERING 1016		St. afw	0.152 0.142
<input type="checkbox"/> 60 km/uur	<input type="checkbox"/> 60 km/uur	<input type="checkbox"/> 0001 filewaarschuwingssyst.	<input type="checkbox"/> 0001 filewaarschuwingssyst.		
<input type="checkbox"/> 70 km/uur	<input type="checkbox"/> 70 km/uur	<input type="checkbox"/> 0010 slecht weer-detectie	<input type="checkbox"/> 0010 slecht weer-detectie		
<input type="checkbox"/> 80 km/uur	<input type="checkbox"/> 80 km/uur	<input type="checkbox"/> 0100 matrix borden	<input type="checkbox"/> 0100 matrix borden		
<input type="checkbox"/> 90 km/uur	<input type="checkbox"/> 90 km/uur	<input type="checkbox"/> 0101 matrix+filew.	<input type="checkbox"/> 0101 matrix+filew.		
<input type="checkbox"/> H-2 Niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> H-2 Niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> 0110 matrix+slecht weer	<input type="checkbox"/> 0110 matrix+slecht weer		
<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> 0111 matrix+sl.wr.+filew.	<input type="checkbox"/> 0111 matrix+sl.wr.+filew.		
BERM 1 1011		<input type="checkbox"/> 1000 kruis/pijl borden	<input type="checkbox"/> 1000 kruis/pijl borden		
<input type="checkbox"/> 0-obstakel vrije zone	<input type="checkbox"/> 0-obstakel vrije zone	<input type="checkbox"/> 1001 kruis/pijl+filew.	<input type="checkbox"/> 1001 kruis/pijl+filew.		
<input type="checkbox"/> 1-verhoogde berm	<input type="checkbox"/> 1-verhoogde berm	<input type="checkbox"/> 1100 kruis/pijl+matrix	<input type="checkbox"/> 1100 kruis/pijl+matrix		
<input type="checkbox"/> 2-verlaagde berm	<input type="checkbox"/> 2-verlaagde berm	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WE	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WE		
<input type="checkbox"/> 3-geleide rail	<input type="checkbox"/> 3-geleide rail	<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend		
<input type="checkbox"/> 4-geleide rail met av-scherm	<input type="checkbox"/> 4-geleide rail met av-scherm	JAAR			
<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> 1996	<input type="checkbox"/> 1996	T	2.573 P 0.950
<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend	<input checked="" type="checkbox"/> 1997	<input checked="" type="checkbox"/> 1997		
BERM 2 1012		<input type="checkbox"/> 1998	<input type="checkbox"/> 1998		
<input type="checkbox"/> 0-obstakel vrije zone	<input type="checkbox"/> 0-obstakel vrije zone	Intensiteit range inperken			
<input type="checkbox"/> 1-verhoogde berm	<input type="checkbox"/> 1-verhoogde berm	<input type="radio"/> Inperken	<input type="radio"/> Niet inperken		
<input type="checkbox"/> 2-verlaagde berm	<input type="checkbox"/> 2-verlaagde berm	VERHARDING 1013			
<input type="checkbox"/> 3-geleide rail	<input type="checkbox"/> 3-geleide rail	<input type="checkbox"/> 0-Onbekend	<input type="checkbox"/> 0-Onbekend		
<input type="checkbox"/> 4-geleide rail met av-scherm	<input type="checkbox"/> 4-geleide rail met av-scherm	<input type="checkbox"/> 1-asfalt	<input type="checkbox"/> 1-asfalt		
<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	<input type="checkbox"/> H-2 niet in WEGGEG	min 2967 max 86489	min 3236 max 89153		
<input type="checkbox"/> Onbekend	<input type="checkbox"/> Onbekend				

Afbeelding 3. Lay-out van het programmaprototype voor het toetsen van verschillen tussen kencijfers.

Door vervolgens te klikken op de knop 'Berekenen' rechts onder in het venster wordt voor beide groepen van geselecteerde wegdelen een aantal statistieken berekend en rechts in het scherm afgedrukt (zie *Afbeelding 3*). Deze statistieken zijn achtereenvolgens:

- het totaal aantal wegdelen per selectie (hier: 10.714 voor 1996, en 14.505 voor 1997);
- de totale lengte van de geselecteerde wegdelen in kilometers (hier: 2909,591 en 3882,730 kilometers);
- de gemiddelde intensiteit per selectie, gewogen naar weglengte; voor selecties 1 en 2 van wegdelen worden deze gewogen gemiddeldes respectievelijk als volgt berekend:

$$M_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} L_i \bar{I}_i}{\sum_{i=1}^{N_1} L_i} = 23.406,489, \text{ en } M_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} L_i \bar{I}_i}{\sum_{i=1}^{N_2} L_i} = 23.369,697.$$

- de standaardafwijking van de intensiteit per selectie, gewogen naar weglengte; voor selecties 1 en 2 van wegdelen worden deze gewogen standaarddeviaties respectievelijk als volgt berekend:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} L_i (\bar{I}_i - M_1)^2}{\sum_{i=1}^{N_1} L_i}} = 12.587,43, \text{ en } \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_2} L_i (\bar{I}_i - M_2)^2}{\sum_{i=1}^{N_2} L_i}} = 12.118,90.$$

- de minimale en maximale intensiteit per selectie van wegdelen (hier: 2.967 en 86.489 voor selectie 1, en 3.236 en 89.153 voor selectie 2);
- de totale expositie op de geselecteerde wegdelen, zoals berekend met formule (2) en uitgedrukt in miljoen motorvoertuigkilometers (hier: 24.857,708 en 33.119,452 miljoen motorvoertuigkilometers);
- de ratio van de totale exposities in de twee selecties (hier: $24.857,708/33.119,451 = 0,751$), de ratio van het totale aantal slachtofferongevallen in de twee selecties (hier: $1.161/1.386 = 0,838$) en de ratio van de twee kencijfers maal 100 (hier: $(100)(0,0467058)/0,0418485 = 111,60$);
- het totale aantal slachtofferongevallen (hier: 1.161 en 1.386 slachtofferongevallen);
- de dichtheid van slachtofferongevallen van de twee selecties van wegdelen (hier: $1.161/2909,591 = 0,039903$ en $1.386/3882,730 = 0,35697$);
- de kencijfers van de twee selecties van wegdelen, zoals gedefinieerd in formule (3) en uitgedrukt in aantal slachtofferongevallen per miljoen motorvoertuigkilometers (hier: $1.161/24.857,708 = 0,047$ voor 1996 en $1.386/33.119,451 = 0,042$ voor 1997);
- de standaarddeviaties van de risico's van de twee selecties van wegdelen rond hun kencijfers, zoals berekend met formule (6) (hier: 0,152 voor 1996 en 0,142 voor 1997);
- de t -waarde voor het toetsen van het verschil tussen de twee kencijfers, zoals berekend met formule (10) (hier: $t_{obs} = 2,573$). Als het verschil minstens significant is op 10% niveau, dan wordt het corresponderende significantieniveau naast de t -waarde achter 'P' in het programmascherm afgedrukt. In *Afbeelding 3* is het verschil significant op 5% niveau, zodat achter 'P' het getal 0,950 is afgedrukt. Is het verschil minder significant dan op 10% niveau, dan blijft de ruimte achter 'P' in het programmascherm leeg.

Uit bovenstaande analyse blijkt dus dat de veiligheid van autosnelwegen met twee rijstroken in 1997 significant lager is dan in 1996. Weliswaar is het aantal slachtofferongevallen op deze rijkswegen in 1997 gestegen met 19,4% ten opzichte van 1996, maar de totale verkeersprestatie is nog veel

meer gestegen, namelijk met 33,2%. Gecombineerd levert dit een relatieve risicoreductie van slachtofferongevallen op van 10,4%.

Het prototype maakt gebruik van een door adviesbureau VIA aangeleverde relationele database. Teneinde na te gaan of deze relationele database op de juiste manier wordt benaderd, zijn vanuit het prototype allerlei selecties van wegdelen gemaakt en zijn de statistieken die met het prototype berekend zijn, vergeleken met die uit het programma ARLI. Bij deze tests is gebleken dat de berekeningen met het prototype steeds exact overeenkomen met de berekeningen uit ARLI.

Met de hier besproken toets voor het verschil tussen twee kencijfers kan voor allerlei wegtypen worden nagegaan of deze significante verschillen vertonen in verkeersveiligheid. In het volgende hoofdstuk wordt een methode voorgesteld om autosnelwegen in te delen in een beperkt aantal intensiteitklassen. In *Hoofdstuk 5* wordt de hier besproken toets dan ook onder andere gebruikt om na te gaan of deze intensiteitklassen qua risico significant van elkaar verschillen. Ook zal de toets in *Hoofdstuk 5* aangevend worden om na te gaan of er zich in de tijd significante ontwikkelingen op het gebied van de verkeersveiligheid op de Nederlandse autosnelwegen hebben voorgedaan.

4. Intensiteitklassen voor de autosnelwegen

In *Hoofdstuk 2* is aan de orde gekomen hoe het verkeersadviesbureau VIA prognoses over het effect van veranderingen in verkeersdrukke op de verkeersveiligheid van geselecteerde weggedelen in het programma ARLI heeft geïmplementeerd. Deze prognoses zijn gebaseerd op de veronderstelling dat intensiteit en ongevallendichtheid steeds lineair met elkaar samenhangen. De aard van de lineaire samenhang wordt in ARLI bepaald door de geselecteerde weggedelen te ordenen op intensiteit, en de weggedelen vervolgens in twee gelijk gevulde klassen van weggedelen in te delen: een lage intensiteitklasse en een hoge intensiteitklasse. De samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid wordt ten slotte vastgesteld als zijnde de rechte lijn die de gemiddelde intensiteit en ongevallendichtheid van deze twee klassen met elkaar verbindt.

In dit hoofdstuk worden alternatieve en meer genuanceerde methoden voorgesteld om de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid van geselecteerde weggedelen te bepalen. Centraal in deze methoden is het idee dat de samenhang tussen veiligheid en verkeersdrukke voor een bepaald wegtype niet over het hele scala aan intensiteiten dezelfde hoeft te zijn. Daarom is besloten binnen het intensiteitsbereik van een bepaald wegtype op zoek te gaan naar intensiteitklassen die min of meer homogeen zijn wat betreft ongevallendichtheid, dan wel verandering in ongevallendichtheid.

Bij deze aanpak om de samenhang te bepalen tussen ongevallendichtheid en intensiteit dienen dan ook drie zaken te worden vastgesteld:

- het *aantal* intensiteitklassen;
- de *grenzen* van deze klassen;
- de *aard van de samenhang* binnen ieder van deze klassen.

Wat betreft het aantal klassen is ernaar gestreefd de weggedelen in een zodanig aantal klassen in te delen dat aan de variatie in intensiteiten zoveel mogelijk recht wordt gedaan. Tegelijkertijd is gepoogd het aantal klassen zodanig te beperken dat een zo spaarzaam mogelijk model wordt verkregen. Ten aanzien van de aard van de samenhang binnen iedere klasse is zowel gekeken naar homogeniteit van de ongevallendichtheid, als naar lineaire en niet-lineaire samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid.

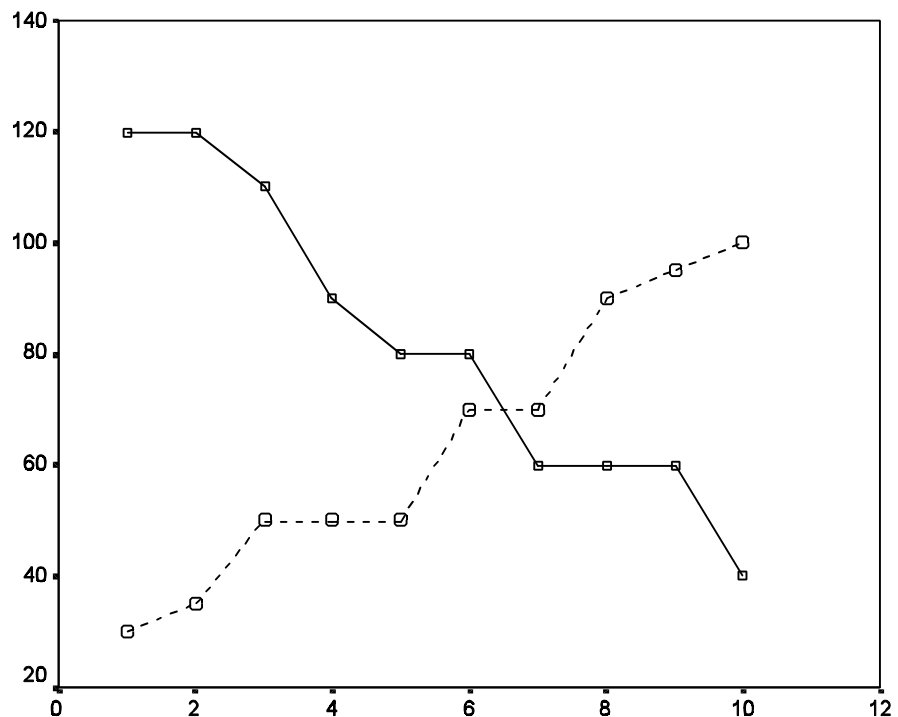
Teneinde tot een optimale klassenindeling van de intensiteiten te komen is bij de SWOV een aantal modellen onderzocht. De resultaten van de analyses met deze modellen worden hieronder besproken. Bij het eerste model dat in *Paragraaf 4.1* wordt besproken, wordt gezocht naar intensiteitklassen die *homogeen* zijn wat betreft hun ongevallendichtheid. Bij de overige modellen die in *Paragraaf 4.2* aan de orde komen, worden intensiteitklassen gezocht die homogeen zijn wat betreft hun *verandering* in ongevallendichtheid. Alle onderstaande analyses zijn voorlopig alleen uitgevoerd op de gegevens van de Nederlandse autosnelwegen.

4.1. Monotone regressie

De eerste methode die is gebruikt om de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid te bepalen is een zogenaamde zwak monotone regressieanalyse. Met deze methode is geprobeerd tot een zodanige klas-indeling van de intensiteiten van de autosnelwegen te komen, dat de wegdelen binnen iedere klasse als homogeen kunnen worden beschouwd wat betreft hun ongevallendichtheid.

Zwak monotone regressie is een speciale vorm van regressieanalyse waarbij een niet-lineair verband tussen variabelen wordt verondersteld. In het bijzonder wordt bij deze analyse onderzocht in hoeverre de waarden op twee variabelen *dezelfde rangorde* hebben. Hebben de dichtheden en intensiteiten van een aantal wegdelen inderdaad dezelfde rangorde en worden deze dichtheden en intensiteiten als punten in een assenstelsel uitgezet, dan zijn de identieke rangordes in de grafiek te herkennen aan het feit dat deze punten óf consequent stijgen, óf consequent dalen. Stijgen de punten consequent, dan is er sprake van een monotoon stijgende relatie tussen de twee variabelen. Als de punten daarentegen consequent dalen, dan is er sprake van een monotoon dalende relatie.

In *Afbeelding 4* zijn voorbeelden van een zwak monotoon stijgende en van een zwak monotoon dalende samenhang weergegeven. In deze afbeelding komen een aantal 'plateaus' voor waarbij de waarden van de variabele op de verticale as niet stijgen of dalen, maar gelijk blijven. Zulke gelijk-blijvende waarden worden in zwak monotone regressie nog steeds beschouwd als 'monotoon stijgend' (bij een positieve samenhang) en als 'monotoon dalend' (bij een negatieve samenhang).

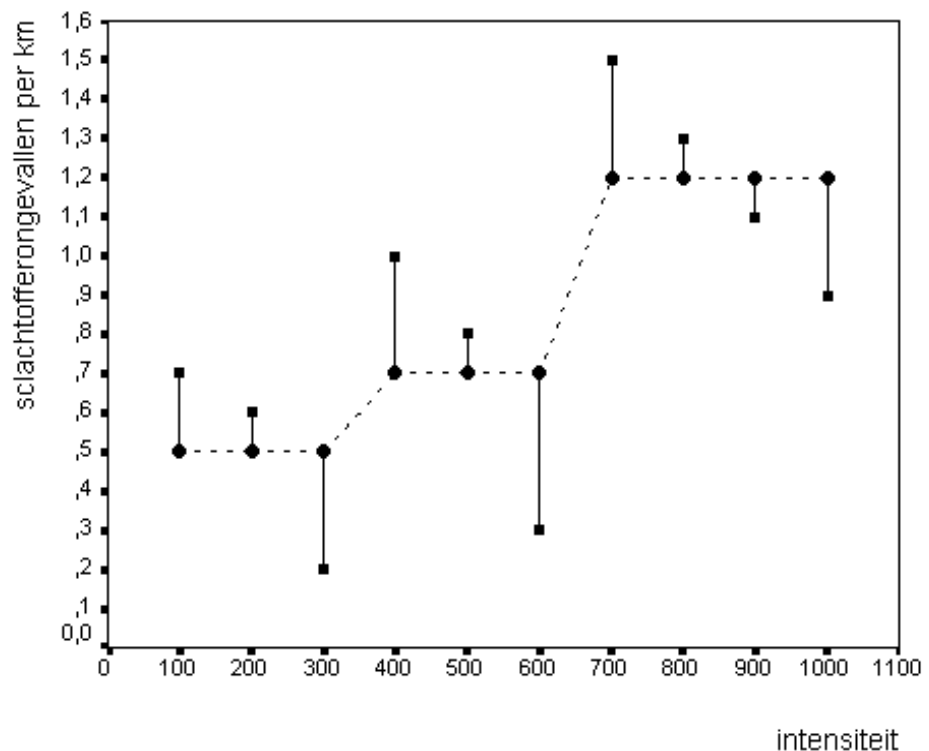


Afbeelding 4. *Perfect monotoon stijgende, en perfect monotoon dalende samenhang tussen twee variabelen.*

Evenals de waarden van variabelen bij een gewone lineaire regressie in de praktijk zelden of nooit precies op een rechte lijn liggen, zo ook hebben de waarden van variabelen bij een monotone regressie zelden of nooit exact dezelfde rangorde. In een zwak monotone regressie wordt dan ook onderzocht in welke mate het lukt de samenhang tussen twee variabelen met een zwak monotoon stijgende dan wel zwak monotoon dalende lijn te representeren. Hoe dit in zijn werk gaat, wordt nu met een hypothetisch voorbeeld toegelicht.

In *Afbeelding 5* zijn de hypothetische ongevallendichtheid- en intensiteitwaarden van tien wegdelen als zwarte vierkantjes in een assenstelsel uitgezet. Duidelijk is dat de rangordes van deze twee variabelen niet meer gelijk zijn aan elkaar: de zwarte vierkantjes in *Afbeelding 5* vertonen weliswaar grofweg een stijgend patroon, maar dit patroon is zeker niet meer consequent stijgend.

Teneinde vast te stellen hoe goed deze gegevens met een zwak monotoon stijgende samenhang kunnen worden verklaard, worden de wegdelen eerst geordend in oplopende intensiteit. Vervolgens wordt bekeken in hoeverre de ongevallendichtheidcijfers meestijgen met de intensiteiten. Zodra dit niet het geval is, wordt over de ongevallendichtheidcijfers die niet meestijgen *gemiddeld*. Deze methode resulteert in de met zwarte rondjes aangegeven cijfers in *Afbeelding 5*. Merk op dat deze punten zwak monotoon stijgen, waarbij –zoals eerder is opgemerkt- gelijk blijven ook als zwak monotoon stijgen wordt beschouwd.



Afbeelding 5. Illustratie van monotone transformatie van intensiteiten.

De in *Afbeelding 5* met rondjes aangegeven dichtheidcijfers van slachtofferongevallen zijn getransformeerde dichtheidwaarden van slachtofferongevallen. Laatstgenoemde waarden vormen een monotone transformatie van de intensiteiten, die tegelijkertijd zoveel mogelijk lijken op de oorspronkelijke dichtheidcijfers van slachtofferongevallen. In deze monotone regressie is de dichtheid van slachtofferongevallen de afhankelijke variabele, en vormen de intensiteiten de onafhankelijke variabele. Noemen we de dichtheid van slachtofferongevallen Y en de intensiteiten X , dan minimaliseert monotone regressie de kleinste-kwadratenverliesfunctie

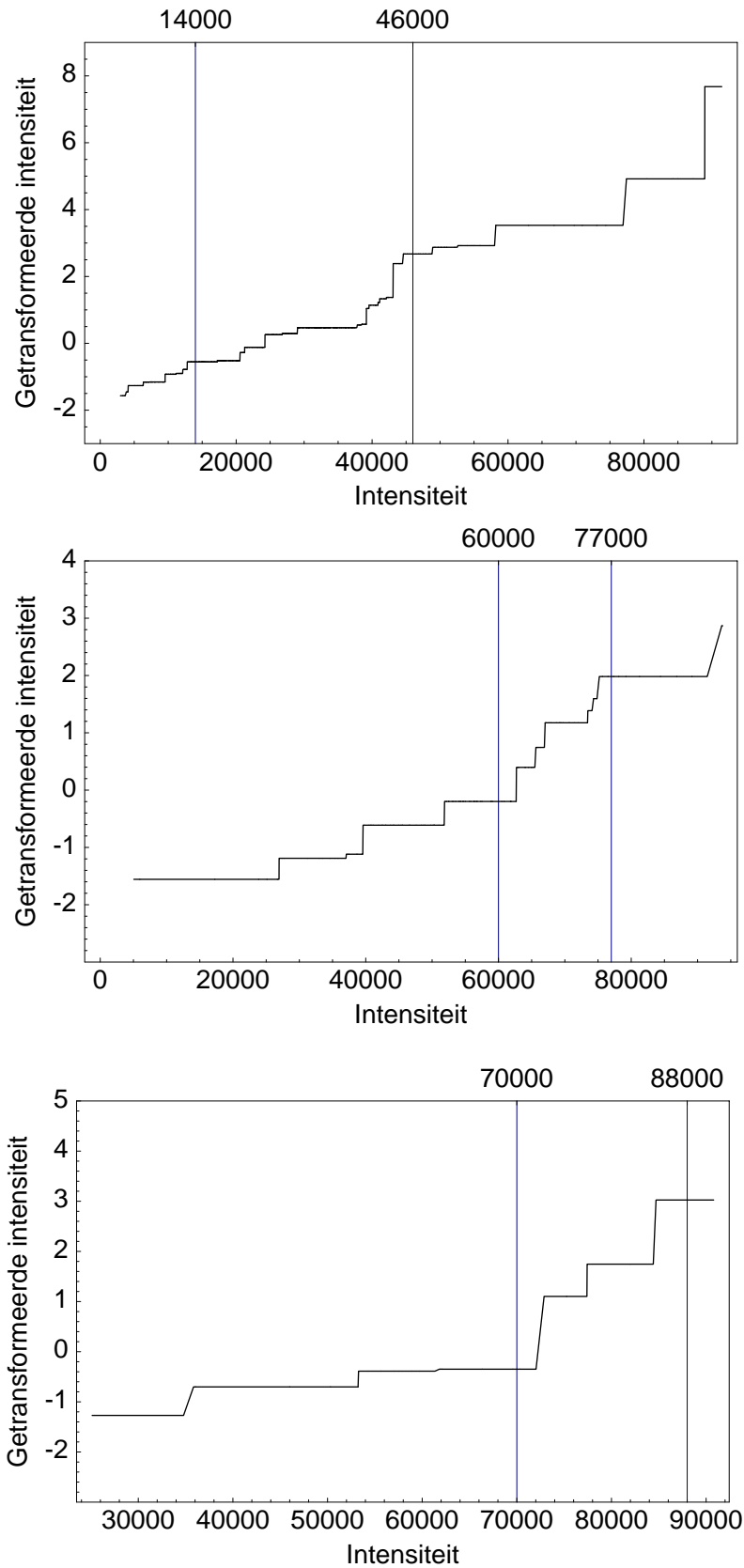
$$\sum_{i=1}^N (Y_i - f(X_i))^2, \quad (11)$$

met $f(X_i)$ een monotone transformatie van X_i (de intensiteiten). De best passende monotone transformatie resulteert in een waarde van de verliesfunctie die gelijk is aan de som van de gekwadrateerde verticale lijnstukken in *Afbeelding 5*. Aangetoond kan worden dat het minimaliseren van (11) gelijk staat aan het maximaliseren van de correlatie tussen de afhankelijke en de (monotoon getransformeerde) onafhankelijke variabele. De correlatie tussen de intensiteiten en de getransformeerde dichtheidcijfers van slachtofferongevallen in *Afbeelding 5* is gelijk aan 0,928. Ter vergelijking: de correlatie voor 'gewone' lineaire samenhang tussen deze variabelen is gelijk aan 0,526.

Op grond van een monotone regressieanalyse worden de wegdelen in *Afbeelding 5* dus ingedeeld in drie homogene intensiteitklassen. De laagste klasse wordt gevormd door de wegdelen met intensiteiten 100, 200 en 300 (met een gemiddelde ongevallendichtheid van 0,5), de middelste klasse door de wegdelen met intensiteiten 400, 500 en 600 (met een gemiddelde ongevallendichtheid van 0,7), en de hoogste klasse door de wegdelen met intensiteiten 700, 800, 900 en 1.000 (met een gemiddelde ongevallendichtheid van 1,2).

Dit is de reden dat monotone regressie in eerste instantie is gebruikt om de onderzoeksvraag uit de inleiding van dit hoofdstuk te beantwoorden. Zoals *Afbeelding 5* laat zien, is het met deze analyse mogelijk tot een zodanige klassenindeling van wegdelen te komen dat de dichtheidcijfers van slachtofferongevallen van de wegdelen binnen iedere intensiteitklasse gelijk zijn aan elkaar.

De wegdelen van de autosnelwegen in het referentiebestand van ARLI zijn dan ook met monotone regressie geanalyseerd. Dit is afzonderlijk gedaan voor wegdelen met twee, drie en vier rijstroken. Het gaat hierbij om respectievelijk 39.840, 5.902 en 1.012 wegdelen. Met verschillen in lengte tussen de wegdelen is rekening gehouden door de wegdelen in alle monotone regressieanalyses te wegen met hun weglengte.



Afbeelding 6. Resultaten van monotone regressie van slachtoffer-ongevallendichtheid op intensiteit voor autosnelwegen met twee (boven), drie (midden) en vier (onder) rijstroken.

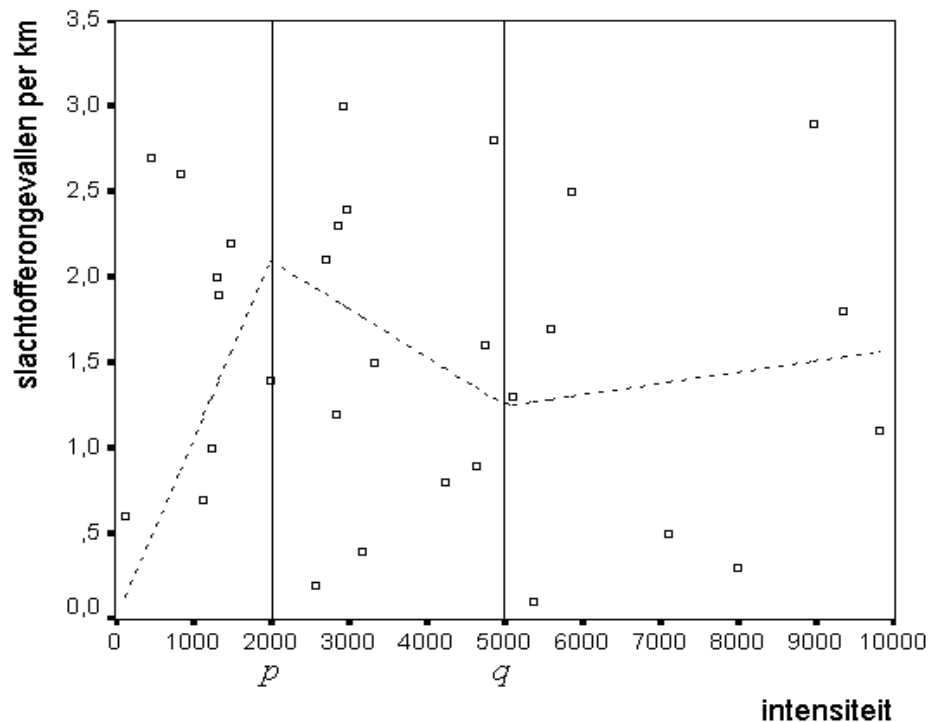
In *Afbeelding 6* wordt het resultaat van deze gewogen monotone regressie-analyses getoond voor de autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken. De betekenis van de twee verticale lijnstukken in ieder van deze drie afbeeldingen zal in *Paragraaf 5.2* duidelijk worden gemaakt. Zoals *Afbeelding 6* laat zien levert monotone regressie voor autosnelwegen met twee rijstroken met name voor lagere intensiteiten een groot aantal plateaus op. Ieder van deze plateaus representeert een homogene intensiteitklasse. Deze klassen hebben een zodanig klein intensiteitsbereik, dat overwogen zou kunnen worden ze samen te voegen en terug te brengen tot een kleiner aantal klassen met een breder intensiteitsbereik. Bij de analyses van autosnelwegen met drie en vier rijstroken treedt dit verschijnsel in veel mindere mate op. Toch worden ook hier nog respectievelijk twaalf en zeven plateaus, c.q. intensiteitklassen gevonden. Hier zou overwogen kunnen worden klassen met een klein intensiteitsbereik op te nemen in naastliggende klassen met een breder intensiteitsbereik.

Uiteindelijk is om twee redenen besloten deze methode voor het vinden van homogene intensiteitklassen te laten varen. In de eerste plaats levert monotone regressie, zoals zojuist besproken, regelmatig een (te) groot aantal intensiteitklassen op, terwijl deze techniek geen mogelijkheden biedt invloed uit te oefenen op het aantal klassen dat wordt verkregen. Veel belangrijker is echter dat met deze methode uitsluitend consequent stijgende dan wel consequent dalende transformaties (plateaus) kunnen worden verkregen. Voor de hier gebruikte toepassing lijkt dit een te grote beperking. In de volgende paragraaf worden dan ook methoden besproken die de flexibiliteit bieden de aard van de samenhang tussen ongevallendichtheid en intensiteit van intensiteitklasse tot intensiteitklasse te laten variëren.

4.2. **Klassengebonden regressie**

Gezien de hierboven besproken beperkingen van monotone regressie zijn er ook modellen bestudeerd die het mogelijk maken voor iedere intensiteitklasse een aparte samenhang tussen ongevallendichtheid en intensiteit vast te stellen. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van een lineaire samenhang.

In *Afbeelding 7* wordt een illustratie gegeven van een lineaire samenhang die per intensiteitklasse verschilt. Bij deze analyse van (overigens fictieve) gegevens worden drie intensiteitklassen onderscheiden. De eerste klasse bevat alle weggedelen met intensiteiten kleiner dan 2.000, de tweede klasse heeft als klassengrenzen 2.000 en 5.000 voertuigen per etmaal, en de derde klasse bevat alle weggedelen met intensiteiten groter dan 5.000. Voor ieder van deze drie klassen is afzonderlijk de best passende regressielijn bepaald. Dit gebeurt bovendien op een zodanige manier dat de regressielijnen elkaar steeds snijden op de klassengrenzen.



Afbeelding 7. Illustratie van klassengebonden lineaire regressie.

Uit *Afbeelding 7* blijkt dat de samenhang tussen intensiteit en ongevallendichtheid in de laagste intensiteitklasse positief is: in deze klasse van wegdelen gaat een toename in intensiteit gepaard met een sterke toename in ongevallendichtheid. In de middelste intensiteitklasse (2.000-5.000) is de samenhang negatief. Hier gaat een toename in verkeersdruk juist gepaard met een afname in de ongevallendichtheid. In de hoogste intensiteitklasse is de samenhang weer positief, al is de toename van ongevallendichtheid in deze klasse minder scherp dan in de laagste intensiteitklasse.

Als uitgegaan wordt van slechts drie intensiteitklassen, dan is het vinden van de drie best passende regressielijnen voor gegeven klassengrenzen p en q een standaard lineair regressieprobleem. De corresponderende verliesfunctie heeft namelijk de volgende vorm:

$$f(\mathbf{b}) = (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b})' \mathbf{W}(\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b}) \quad (12)$$

waarbij \mathbf{y} de vector met geobserveerde dichtheidcijfers van slachtofferongevallen is, \mathbf{W} een diagonale matrix met de geobserveerde weglengtes van de wegdelen op de diagonaal, en \mathbf{b} een onbekende vector met regressiegewichten. Matrix \mathbf{W} zorgt ervoor dat de wegdelen gewogen worden naar weglengte. Matrix \mathbf{X} in (12) is gegeven en bestaat uit drie kolommen. De eerste kolom van \mathbf{X} bevat de etmaalintensiteiten van de wegdelen. De tweede kolom bevat nullen, daar waar de intensiteit van wegdelen kleiner of gelijk is aan p en bevat het verschil tussen de intensiteit en p op de overige plaatsen. De derde kolom van \mathbf{X} bevat nullen, daar waar de intensiteit van wegdelen kleiner of gelijk is aan q en bevat het verschil tussen de intensiteit en q op de overige plaatsen.

Deze opbouw van matrix \mathbf{X} garandeert dat de best passende regressielijnen elkaar altijd snijden op de klassengrenzen p en q en dus op deze plaatsen in elkaar overlopen. Het minimaliseren van verliesfunctie (12) is een standaard regressieprobleem, waarvan de oplossing direct kan worden uitgerekend door middel van

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{W}\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{W}\mathbf{y} \quad (13)$$

In de praktijk is echter het probleem dat onbekend is in hoeveel intensiteitklassen de wegdelen het beste kunnen worden ingedeeld en dat ook niet bekend is waar de klassengrenzen het beste kunnen worden aangebracht. In verband met het eerder genoemde streven naar spaarzaamheid van modellen is besloten de etmaalintensiteiten in niet meer dan drie klassen in te delen. Bij drie klassen dienen echter nog steeds de twee klassengrenzen p en q te worden bepaald die de samenhang tussen ongevallendichtheid en intensiteit optimaliseren door middel van drie op de klassengrenzen in elkaar doorlopende regressielijnen. Dit is gedaan door middel van een zogenaamde 'grid search'. Hierbij worden alle mogelijke combinaties van waarden voor p en q in kleine intensiteitstappen doorlopen, en steeds de best passende regressielijnen berekend door middel van (13). Vervolgens wordt bekeken welke combinatie van p en q het kleinste verlies in (12) oplevert. Deze oplossing wordt als beste oplossing aangemerkt.

Nadeel van dit lineaire model is dat aangenomen wordt dat het aantal slachtofferongevallen een normale verdeling volgt. Aangezien op de meerderheid van de wegdelen geen slachtofferongevallen plaatsvinden, of op zijn hoogst één per jaar, lijkt deze aanname geen stand te kunnen houden. Vandaar dat ook gekeken is naar de resultaten van zogenaamde gegeneraliseerde lineaire modellen, die de mogelijkheid bieden andere verdelingen aan de afhankelijke variabele op te leggen. In het bijzonder is in dit geval gekeken naar gegeneraliseerde lineaire modellen met een Poisson-verdeling van het aantal slachtofferongevallen.

De verliesfunctie van dit model is gelijk aan de volgende loglikelihood-functie

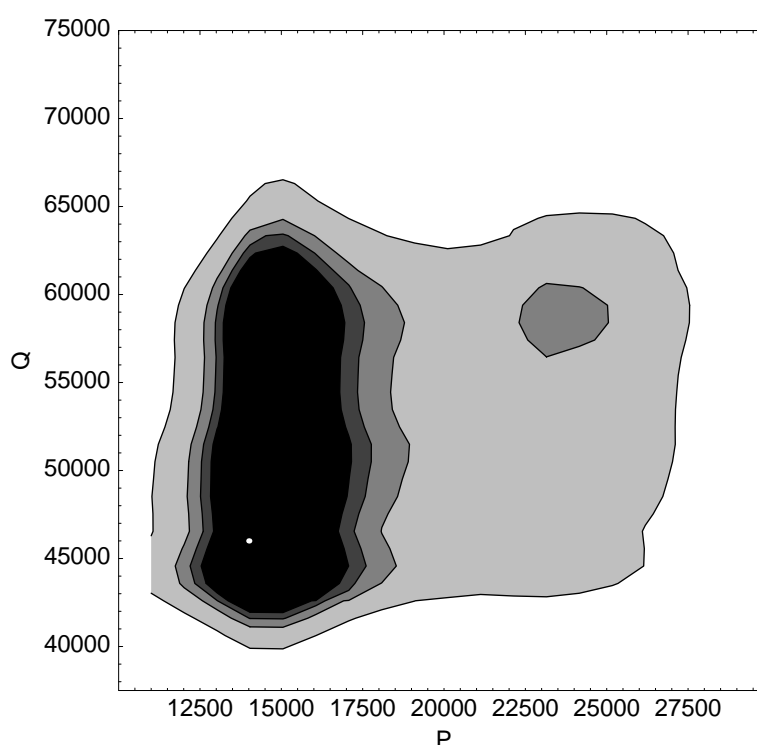
$$f(\mathbf{b}) = 2 \left\{ (\ln \mathbf{y} - (\mathbf{X}\mathbf{b} + \ln \mathbf{w}))' \mathbf{y} - \left(\mathbf{y} - e^{\mathbf{X}\mathbf{b} + \ln \mathbf{w}} \right)' \mathbf{1} \right\}, \quad (14)$$

waarbij matrix \mathbf{X} en vectoren \mathbf{y} en \mathbf{b} identiek gedefinieerd zijn als in (12), \mathbf{w} een vector met weglengtes is, en $\mathbf{1}$ een vector met enen. Het minimaliseren van (14) kan onder andere plaatsvinden door middel van een zogenaamd iteratief gewogen kleinste-kwadratens algoritme (zie bijvoorbeeld McCullagh & Nelder, 1989).

Ook bij deze gegeneraliseerde modellen is steeds uitgegaan van drie intensiteitklassen en zijn de optimale klassengrenzen p en q bepaald door middel van dezelfde 'grid search' als boven is beschreven voor de gewone lineaire modellen. Om te voorkomen dat intensiteitklassen worden gevonden met een triviaal klein intensiteitsbereik is tijdens deze analyses bovendien steeds de eis gesteld dat de klassen een minimale klassenbreedte van 5000 voertuigen per etmaal dienen te hebben. Afzonderlijke analyses van de autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken in het referentiebestand van ARLI leveren de volgende resultaten op.

Twee rijstroken

Van de 39.840 wegdelen die behoren tot de autosnelwegen met twee rijstroken blijken zestien wegdelen gecodeerd als zijnde een wegdeel met een snelheidslimiet van 10 km/uur. Deze zestien wegdelen zijn om die reden niet meegenomen in de analyse. Bovendien bleek tijdens de analyse dat de veertien wegdelen van de resterende 39.824 wegdelen met een lengte groter dan 5 km tot convergentieproblemen leidden in de procedure waarmee dit model werd gefit (de procedure GENMOD in SAS (1999)). Deze convergentieproblemen ontstaan bij observaties met sterk afwijkende waarden. Daarom zijn deze veertien langste wegdelen eveneens uitgesloten van analyse. Het resultaat van de analyse van de overige 39.810 wegdelen wordt getoond in *Afbeeldingen 8 en 9*.

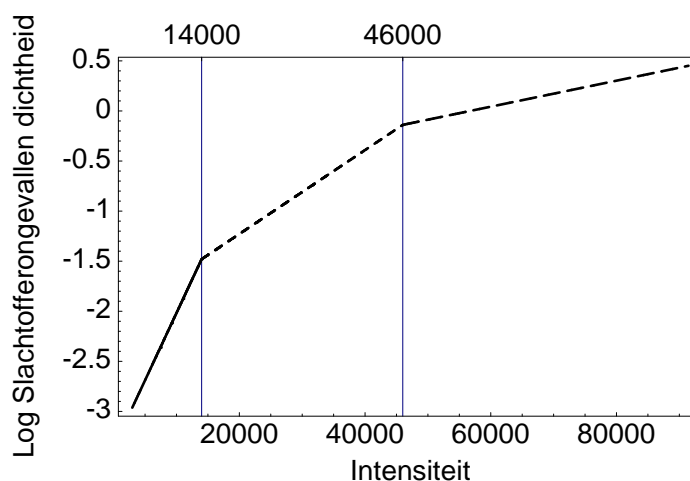


Afbeelding 8. Betrouwbaarheidsgebieden voor klassengebonden regressie van autosnelwegen met twee rijstroken.

Bij de analyse van de 39.810 autosnelwegdelen met twee rijstroken werden optimale klassengrenzen gevonden van 14.000 voertuigen per etmaal voor de bovengrens van de onderste klasse of de ondergrens van de middelste klasse en 46.000 voertuigen per etmaal voor de bovengrens van de middelste klasse of de ondergrens van de hoogste intensiteitklasse.

Op de horizontale as van *Afbeelding 8* zijn de waarden van de onderste klassengrens p uitgezet, op de verticale as de waarden van de bovenste klassengrens q . Het witte puntje in het zwarte gebied in *Afbeelding 8* representeert de gevonden optimale waarden van de klassengrenzen $p = 14.000$ en $q = 46.000$, waarmee de autosnelwegdelen met twee rijstroken volgens deze analyse het beste in drie intensiteitklassen kunnen worden ingedeeld.

De met zwart en tinten grijs aangegeven oppervlakken in *Afbeelding 8* zijn betrouwbaarheids-gebieden voor de gevonden optimale waarden voor p en q . De betrouwbaarheidsgebieden zijn verkregen door middel van een methode die in Seber & Wild (1989) wordt beschreven. Deze gebieden geven –met verschillende graden van zekerheid- aan binnen welke marges de werkelijke waarden van p en q zich in de populatie van autosnelwegdelen met twee rijstroken bevinden. De werkelijke populatiewaarden van p en q bevinden zich met 95% zekerheid in het zwarte gebied, met 97,5% zekerheid in het donkergrijze gebied *inclusief* het zwarte gebied, met 99% zekerheid in het lichtergrijze gebied (inclusief de vorige twee gebieden) en met 99,9% zekerheid in het gebied met het lichtste grijs (inclusief de vorige drie gebieden). Aangezien deze gebieden in *Afbeelding 8* relatief klein van omvang zijn, kan worden geconcludeerd dat de gevonden klassengrenzen vrij dicht in de buurt liggen van de werkelijke klassengrenzen in de populatie van dit type van wegdelen.



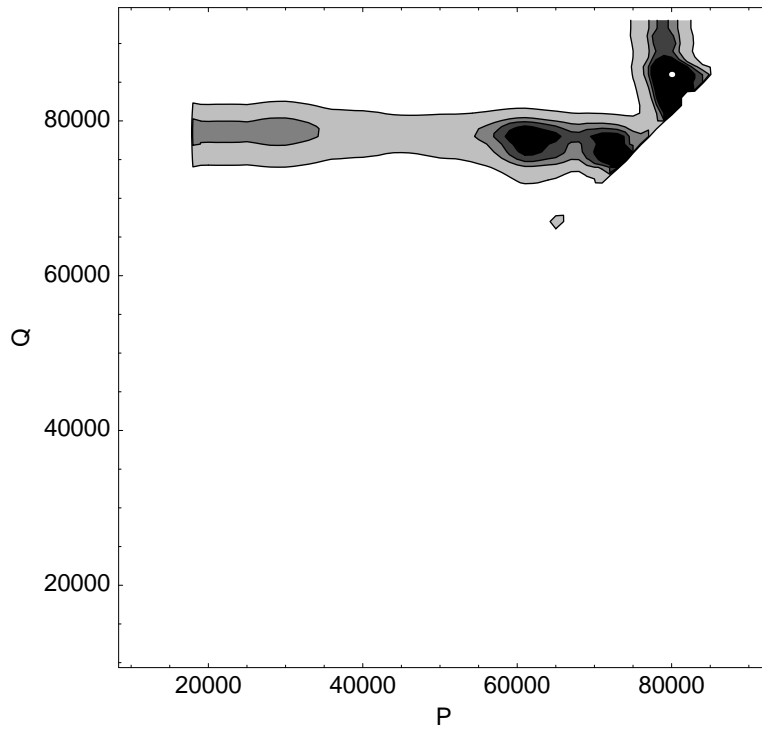
Afbeelding 9. *Klassengebonden regressie voor autosnelwegen met twee rijstroken.*

In *Afbeelding 9* zijn de best passende regressielijnen weergegeven voor de hierboven vastgestelde optimale klassengrenzen. In deze afbeelding zijn de intensiteiten (horizontaal) uitgezet tegen de logaritme van het aantal slachtofferongevallen per kilometer (verticaal). Uit deze afbeelding blijkt dat de dichtheid van slachtofferongevallen op autosnelwegen met twee rijstroken gemiddeld het laagste is op de 7.966 wegdelen in de intensiteitklasse van 0 tot 14.000 voertuigen per etmaal, wat hoger wordt op de 29.858 wegdelen in de intensiteitklasse van 14.000 tot en met 46.000 voertuigen per etmaal en het hoogste is op de 1.986 wegdelen in de intensiteitklasse van meer dan 46.000 voertuigen per dag.

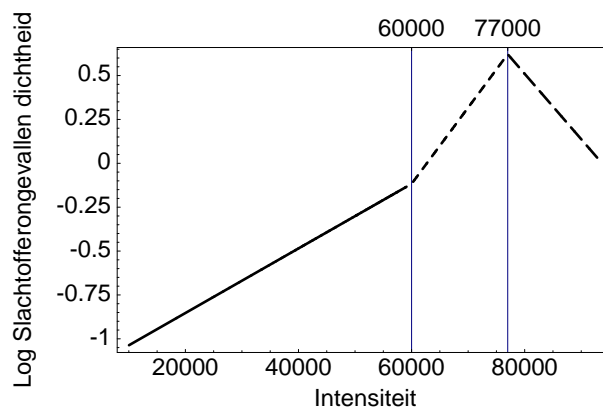
Naast het feit dat een toename in intensiteit op dit wegtype consequent gepaard gaat met een toename in dichtheid van slachtofferongevallen, blijkt uit *Afbeelding 9* bovendien dat deze toename het sterkst is in de laagste intensiteitklasse, afzwakt in de middelste intensiteitklasse, om in de hoogste intensiteitklasse ten slotte nog verder af te zwakken.

Drie rijstroken

Het referentiebestand van ARLI bevat in totaal 5.902 autosnelwegdelen met drie rijstroken. Hiervan zijn de 67 wegdelen met intensiteiten kleiner dan 10.000 voertuigen per etmaal uitgesloten van analyse, omdat deze wegdelen eveneens rekenproblemen veroorzaakten in de procedure waarmee dit model werd gefit. De resultaten van de analyse van de resterende 5.835 wegdelen zijn in *Afbeeldingen 10 en 11* weergegeven.



Afbeelding 10. *Betrouwbaarheidsgebieden voor klassengebonden regressie van autosnelwegen met drie rijstroken.*



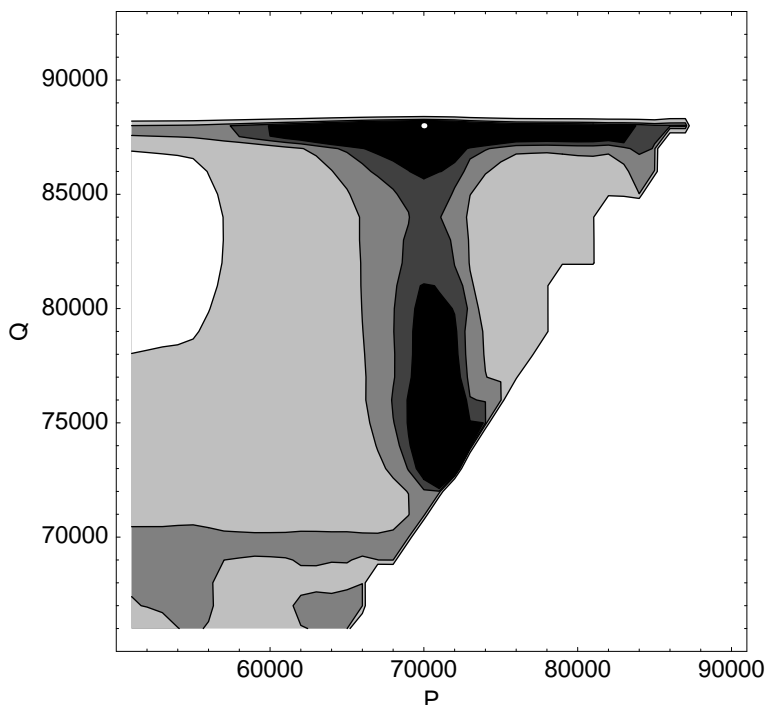
Afbeelding 11. *Klassengebonden regressie voor autosnelwegen met drie rijstroken.*

Bij deze analyse worden optimale klassengrenzen gevonden van 80.000 en 86.000 voertuigen per etmaal. Deze optimale waarden zijn als wit puntje in het zwarte gebied in *Afbeelding 10* weergegeven. Weer blijken de betrouwbaarheidsgebieden in deze afbeelding vrij klein te zijn zodat geconcludeerd kan worden dat de gevonden klassengrenzen de werkelijke klassengrenzen in de populatie van wegdelen met drie rijstroken vrij goed benaderen.

Omdat deze grenzen resulteren in een erg smalle middelste intensiteit-klasse is er voor gekozen niet de zojuist genoemde optimale klassengrenzen van 80.000 en 86.000 voertuigen per etmaal te gebruiken, maar klassengrenzen van 60.000 en 77.000 voertuigen per etmaal aan te houden. Deze grenzen, die statistisch niet te onderscheiden zijn van de klassengrenzen van 80.000 en 86.000 voertuigen per etmaal, bevinden zich in het meest links gelegen zwarte gebied in *Afbeelding 10*. In *Afbeelding 11* worden de met deze klassengrenzen corresponderende best passende regressielijnen weergegeven. In de laagste intensiteitklasse met 3.641 wegdelen gaat een toename in intensiteit gepaard met een langzame toename in dichtheid van slachtofferongevallen, terwijl de onveiligheid in de middelste klasse met 1.827 wegdelen een sterkere toename vertoont. In de hoogste intensiteitklasse met 367 wegdelen gaat een toename in intensiteit juist gepaard met een afname in dichtheid van slachtofferongevallen.

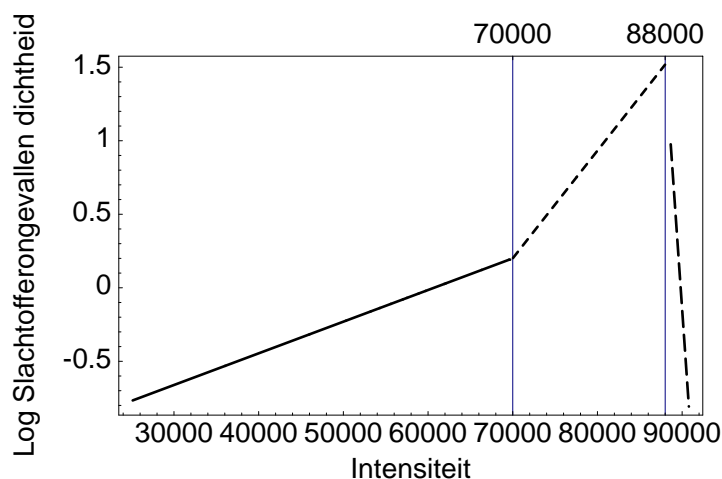
Vier rijstroken

Van de wegdelen behorend tot de autosnelwegen met vier rijstroken zijn alle 1.012 wegdelen meegenomen in de analyse. Geen van deze wegdelen leverde rekenproblemen op tijdens de analyse. De resultaten van deze analyse zijn grafisch weergegeven in *Afbeeldingen 12 en 13*.



Afbeelding 12. Betrouwbaarheidsgebieden voor klassengebonden regressie van autosnelwegen met vier rijstroken.

Bij deze analyse bleek de bovengenoemde eis van een minimale klassenbreedte van 5.000 voertuigen per etmaal relevant te zijn voor het resultaat: zonder deze eis worden optimale klassengrenzen gevonden van 72.000 en 73.000. Met deze beperking echter blijken de optimale klassengrenzen gelijk te zijn aan 70.000 en 88.000 voertuigen per etmaal. De betrouwbaarheidsgebieden in *Afbeelding 12* liggen relatief dicht in de buurt van de gevonden klassengrenzen, zodat geconcludeerd kan worden dat ze de werkelijke grenzen in de populatie vrij goed benaderen.



Afbeelding 13. Klassengebonden regressie voor autosnelwegen met vier rijstroken.

De bij deze klassengrenzen best passende regressielijnen zijn in *Afbeelding 13* getekend. Hieruit blijkt dat de laagste intensiteitklasse met 735 wegdelens een langzame toename in dichtheid van slachtofferongevallen vertoont, terwijl de onveiligheid in de middelste klasse met 266 wegdelens veel sterker toeneemt. In de hoogste intensiteitklasse gaat een toename in intensiteit juist gepaard met een scherpe afname in dichtheid van slachtofferongevallen. Aangetekend moet worden dat de voor deze klasse getoonde samenhang slechts gebaseerd is op elf observaties of wegdelens.

In *Tabel 1* zijn de in dit hoofdstuk gevonden optimale klassengrenzen van de intensiteitklassen voor de autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken nog eens samengevat.

Aantal rijstroken	Intensiteitklassen per rijrichting		
	Laag	Modaal	Hoog
2	< 14.000	14.000-46.000	> 46.000
3	< 60.000	60.000-77.000	> 77.000
4	< 70.000	70.000-88.000	> 88.000

Tabel 1. Optimale grenzen voor intensiteitklassen van autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken.

In *Hoofdstuk 5* worden voor ieder van deze intensiteitklassen kencijfers gepresenteerd en wordt met de methode uit *Hoofdstuk 3* getoetst of deze kencijfers significant van elkaar verschillen.

5. Toepassingen

In dit hoofdstuk wordt een aantal praktische toepassingen besproken van veiligheidsanalyses die in dit rapport zijn voorgesteld. In *Paragraaf 5.1* worden risicocijfers berekend voor de intensiteitklassen van autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken die in het vorige hoofdstuk zijn vastgesteld. Daarnaast worden deze wegtypen met elkaar vergeleken op hun veiligheidsaspecten. In *Paragraaf 5.2* worden deze risicocijfers in verband gebracht regressielijnen die in *Paragraaf 4.2* gevonden zijn en worden de risicocijfers en de regressielijnen inhoudelijk geïnterpreteerd. In *Paragraaf 5.3* ten slotte wordt de toets uit *Hoofdstuk 3* gebruikt om na te gaan of de kencijfers van autosnelwegen met asfalt en zoab significant van elkaar verschillen.

5.1. Verschiltoetsen voor kencijfers van intensiteitklassen op autosnelwegen

In *Tabellen 2, 3 en 4* worden de belangrijkste statistieken weergegeven voor de intensiteitklassen van autosnelwegen met respectievelijk twee, drie en vier rijstroken, die in het vorige hoofdstuk zijn vastgesteld. De in deze tabellen opgenomen statistieken zijn verkregen met het in *Paragraaf 3.5* beschreven prototype en zijn gebaseerd op het referentiebestand van ARLI dat de gegevens bevat over de jaren 1996 t/m 1998.

De tabellen bevatten onder meer de kencijfers voor iedere intensiteitklasse. Met behulp van de toets uit *Paragraaf 3.4* is nagegaan of deze kencijfers significant van elkaar verschillen. De toets is steeds uitgevoerd voor ieder paar van naastgelegen intensiteitklassen: het risicoverschil tussen de laagste en de middelste intensiteitklasse is getoetst, evenals het verschil tussen de middelste en de hoogste intensiteitklasse.

Uit *Tabel 2* blijkt dat op autosnelwegen met twee rijstroken het slachtofferongevallenrisico in de middelste intensiteitklasse (0,042) groter is dan het slachtofferongevallenrisico in de laagste intensiteitklasse (0,040), terwijl dit risico het grootst is in de klasse met etmaalintensiteiten groter dan 46.000 voertuigen per dag (0,049). Het risicoverschil in de laagste en de middelste intensiteitklasse is echter niet significant. Daarentegen is het risicoverschil tussen de middelste en de hoogste intensiteitklasse significant op 5%-niveau. Tweestrooks autosnelwegen met intensiteiten groter dan 46.000 zijn dus significant onveiligere dan tweestrooks autosnelwegen met intensiteiten van 14.000 t/m 46.000 voertuigen per dag.

Ook bij autosnelwegen met drie rijstroken blijkt het risico in de middelste intensiteitklasse groter te zijn dan in de laagste intensiteitklasse, terwijl de hoogste intensiteitklasse gepaard gaat met het hoogste risico (zie *Tabel 3*). Geen van de voor dit wegtype geobserveerde verschillen in slachtofferongevallenrisico zijn echter significant, zodat geconcludeerd kan worden dat de waargenomen risicoverschillen toegeschreven kunnen worden aan toevalsfluctuaties.

Autosnelwegen met twee rijstroken	Intensiteitklasse		
	< 14.000	14.000-46.000	> 46.000
Aantal wegdelen	7975	29.879	1986
Totale lengte wegdelen in km	2544	7.708	426
Gemiddelde intensiteit	9654	26.442	57821
Standaard afwijking intensiteit	2671	8.076	12.475
Minimum intensiteit	2967	14.000	46.020
Maximum intensiteit	13991	45.972	91.453
Expositie in miljoen mvt-km	8963	74.399	8.982
Aantal slachtofferongevallen	358	3.124	443
Risico per km	0,141	0,405*	1,041*
Risico per miljoen mvt-km	0,04	0,042*	0,049*
Standaard afwijking risico	0,176	0,142	0,122

* $p < 0,05$

Tabel 2. *Statistieken voor intensiteitklassen van autosnelwegen met twee rijstroken.*

Autowegen met drie rijstroken	Intensiteitklasse		
	< 60.000	60.000-77.000	> 77.000
Aantal wegdelen	3708	1827	367
Totale lengte wegdelen in km	808	388	106
Gemiddelde intensiteit	44884	67253	84389
Standaard afwijking intensiteit	10870	4326	4998
Minimum intensiteit	5058	60272	77134
Maximum intensiteit	59100	76926	93643
Expositie in miljoen mvt-km	13238	9521	3259
Aantal slachtofferongevallen	579	459	159
Risico per km	0,717	1,183	1,503
Risico per miljoen mvt-km	0,044	0,048	0,049
Standaard afwijking risico	0,136	0,123	0,089

Tabel 3. *Statistieken voor intensiteitklassen van autosnelwegen met drie rijstroken.*

Uit de risicocijfers voor de intensiteitklassen van autosnelwegen met vier rijstroken blijkt het risico het kleinst te zijn in de laagste intensiteitklasse (0,046), vervolgens naar 0,076 te stijgen voor de middelste intensiteitklasse, om weer naar 0,052 te zakken in de hoogste intensiteitklasse (zie *Tabel 4*). Het verschil tussen de kencijfers voor de laagste en de middelste intensiteitklasse is zeer significant, dat tussen de kencijfers voor de middelste en de hoogste intensiteitklasse is echter niet significant. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de verschiltoets voor het risico in de middelste en de hoogste intensiteitklasse in *Tabel 4* sowieso dubieus is omdat de hoogste intensiteitklasse slechts elf waarnemingen bevat, terwijl de verschiltoets uitgaat van minstens enkele tientallen observaties per selectie van wegdelen (zie *Paragraaf 3.4*).

Autosnelwegen met vier rijstroken	Intensiteitklasse		
	< 70.000	70.000-88.000	>88.000
Aantal wegdelen	735	266	11
Totale lengte wegdelen in km	148	73	3
Gemiddelde intensiteit	56079	76314	89472
Standaard afwijking intensiteit	9553	5917	947
Minimum intensiteit	25125	70024	88652
Maximum intensiteit	69574	87982	90796
Expositie in miljoen mvt-km	3034	2025	95
Aantal slachtofferongevallen	139	154	5
Risico per km	0,938*	2,118*	1,711
Risico per miljoen mvt-km	0,046*	0,076*	0,052
Standaard afwijking risico	0,119	0,123	0,075

* $p < 0,005$

Tabel 4. *Statistieken voor intensiteitklassen van autosnelwegen met vier rijstroken.*

Samenvattend blijkt dus dat intensiteitklassen met hogere intensiteiten ook consequent gepaard gaan met hogere risico's. De enige uitzondering wordt gevormd door de hoogste intensiteitklasse van de wegen met vier rijstroken, maar deze klasse beslaat in totaal slechts drie kilometer weg.

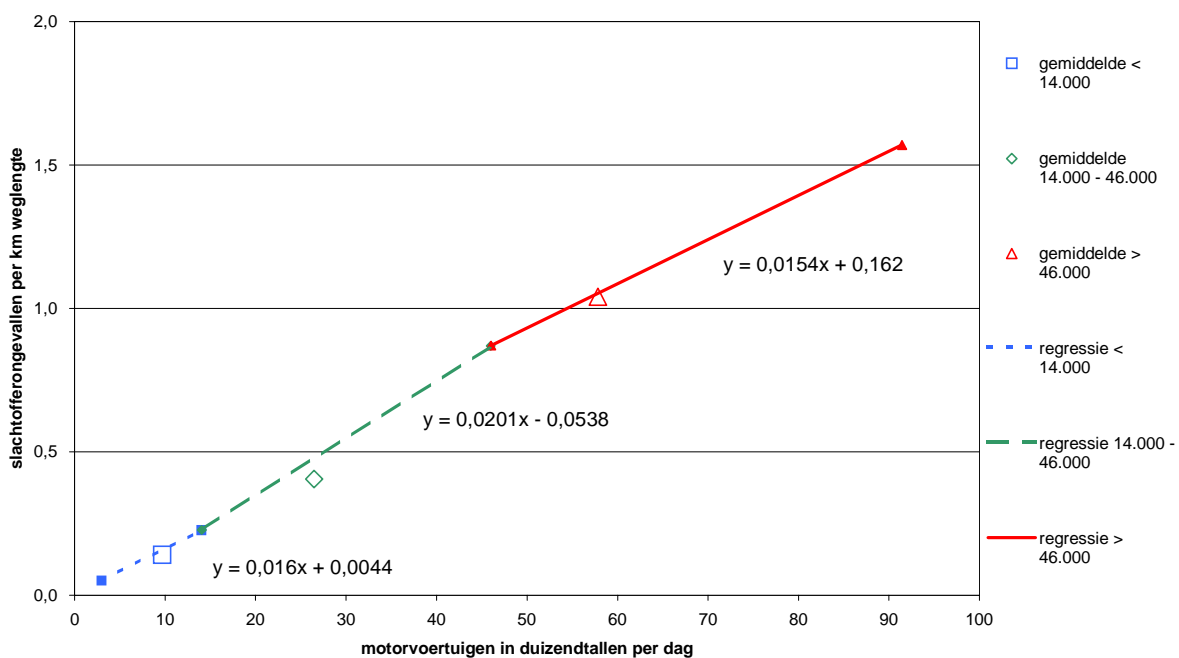
5.2. Interpretatie van de verkeersonveiligheid op autosnelwegen

In *Paragraaf 4.2* zijn afzonderlijke, optimale intensiteitklassen bepaald voor de autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken. De grenzen van deze klassen zijn zodanig gekozen dat de samenhang tussen intensiteit en (de logaritme van de) dichtheid van slachtofferongevallen per klasse optimaal met een rechte lijn wordt gerepresenteerd. In *Paragraaf 5.1* zijn vervolgens kencijfers voor ieder van deze intensiteitklassen gepresenteerd en is per wegtype getoetst of de kencijfers voor opeenvolgende intensiteitklassen al dan niet significant van elkaar verschillen. In deze paragraaf worden de resultaten van deze twee analyses met elkaar in verband gebracht en inhoudelijk geïnterpreteerd.

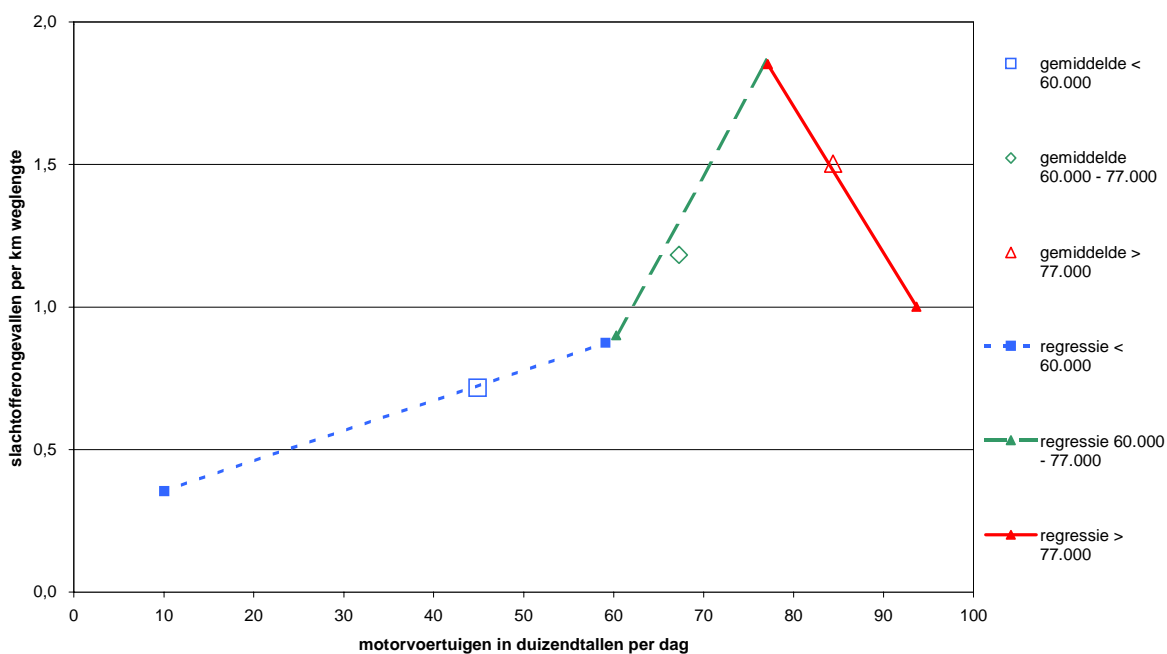
Intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen

De resultaten van de klassengebonden regressieanalyses uit *Paragraaf 4.2* zijn samen met de kencijfers van de intensiteitklassen uit *Paragraaf 5.1* weergegeven in *Afbeeldingen 14, 15 en 16*, respectievelijk voor rijbanen met twee, drie en vier rijstroken. Naast het feit dat de kencijfers van de intensiteitklassen (uitgedrukt in aantal slachtofferongevallen per kilometer) aan deze afbeeldingen zijn toegevoegd (met de legenda 'gemiddelde'), zijn er nog twee andere verschillen tussen *Afbeeldingen 14, 15 en 16* en *Afbeeldingen 9, 11 en 13*. Het eerste verschil is dat in *Afbeeldingen 9, 11 en 13* de *logaritme* van de dichtheid van slachtofferongevallen op de Y-as is uitgezet, terwijl dit in *Afbeeldingen 14 t/m 16* is gedaan voor de dichtheid van slachtofferongevallen zelf. Verder bevinden zich in *Afbeeldingen 14 t/m 16* hier en daar hiaten tussen de regressielijnen, daar waar deze lijnen elkaar in *Afbeeldingen 9, 11 en 13* consequent kruisen. Deze hiaten worden veroorzaakt doordat in onderstaande afbeeldingen de regressielijn binnen

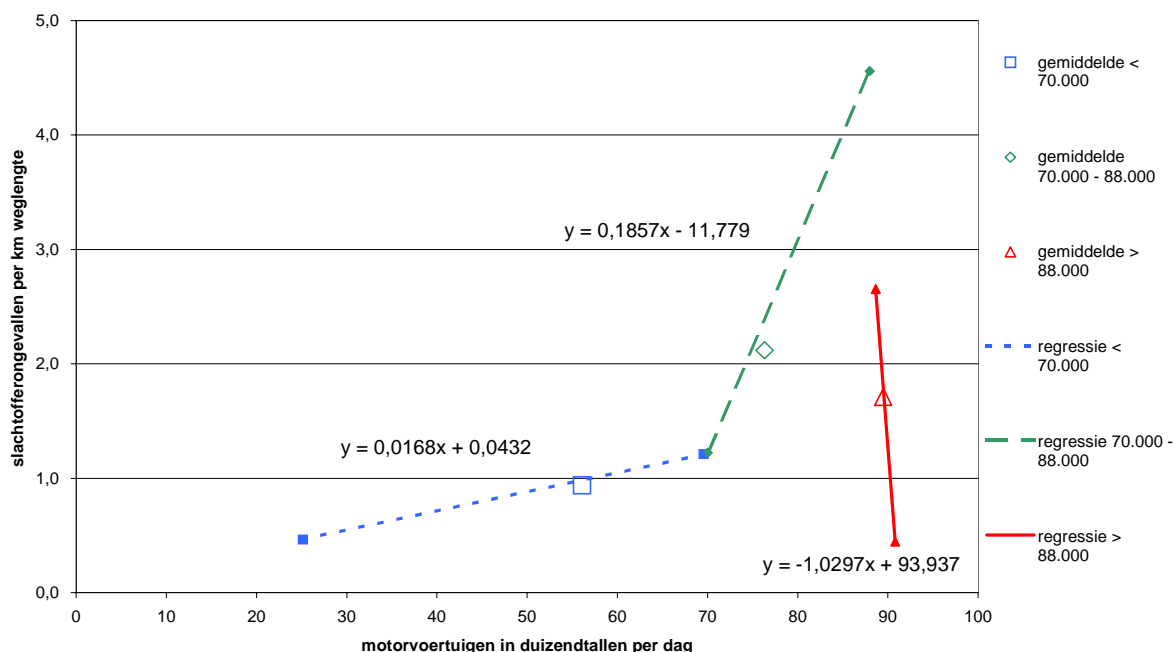
iedere intensiteitklasse respectievelijk begint en eindigt bij de laagste en hoogste *geobserveerde* intensiteit binnen die klasse.



Afbeelding 14. Relatie tussen intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen op autosnelwegen met twee rijstroken.



Afbeelding 15. Relatie tussen intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen op autosnelwegen met drie rijstroken.



Afbeelding 16. Relatie tussen intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen op autosnelwegen met vier rijstroken.

De regressielijnen in Afbeeldingen 14 t/m 16 geven aan hoe de waarde van de ongevallendichtheid – het aantal slachtofferongevallen per kilometer weglengte – verandert als de intensiteit – het aantal motorvoertuigen gemiddeld per dag in de periode 1996, 1997 en 1998 – toeneemt. In de meeste gevallen beantwoorden deze regressielijnen aan de verwachting, namelijk dat de ongevallendichtheid toeneemt naarmate de intensiteit toeneemt. Anders gezegd: naarmate er meer verkeer is neemt ook het aantal ongevallen toe. In de hoogste intensiteitklassen van de rijbanen met drie en vier rijstroken is echter een tegenovergesteld verband waar te nemen: de ongevallendichtheid neemt hier juist af bij een toename van de intensiteit. De hoogste intensiteitklasse van de rijbanen met vier rijstroken bestaat echter uit een dusdanig klein aantal wegdelen (namelijk 11 met een totale lengte van slechts 3 km, zie Tabel 4), dat deze klasse verder buiten beschouwing wordt gelaten.

Afbeelding 6 in Paragraaf 4.1 bevat de resultaten van monotone regressie voor de autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken. In deze afbeelding zijn de met klassengebonden regressie gevonden optimale klassengrenzen met verticale lijnen aangegeven. Vergelijken we deze monotone transformaties met Afbeeldingen 14, 15 en 16, dan zien we dat er redelijke overeenkomsten zijn tussen de resultaten van deze twee analysetechnieken. Het belangrijkste verschil tussen de resultaten van monotone en klassengebonden regressie is dat de hoogste intensiteitklassen van de wegen met drie en vier rijstroken een stijgende samenhang vertonen bij monotone regressie, terwijl de samenhang dalend is bij klassengebonden regressie. Dit wordt echter puur veroorzaakt doordat de samenhang bij monotone regressie consequent stijgend moet zijn.

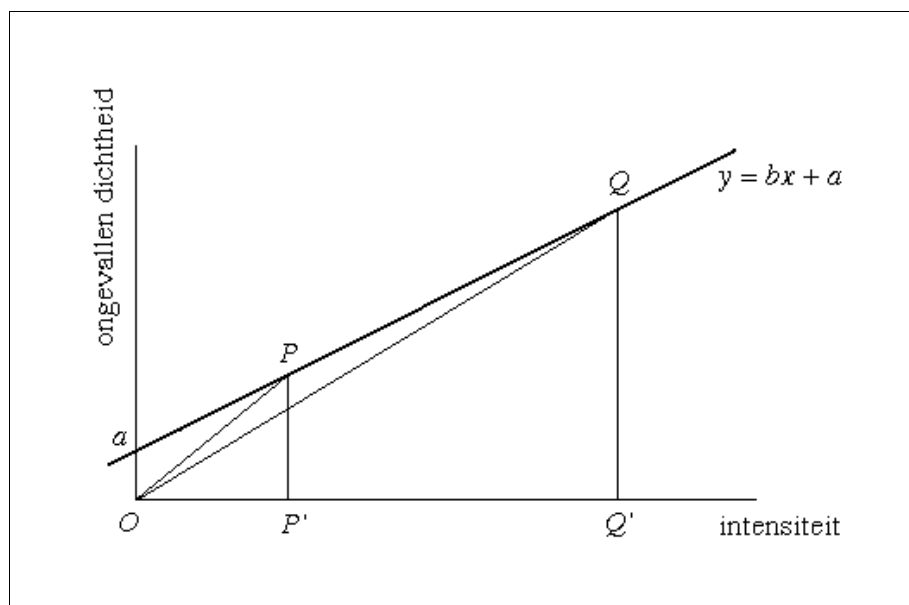
Intensiteit en risico

Bij vergelijking van de regressielijnen van de drie soorten rijbanen valt op dat er eveneens consistentie is in de samenhang tussen intensiteit en slachtofferongevallenrisico. Het risico van een wegdeel – uitgedrukt in het aantal slachtofferongevallen per gereden motorvoertuigkilometer – is gelijk aan de dichtheid van slachtofferongevallen gedeeld door de intensiteit (zie de *Bijlage* voor het bewijs dat deze twee manieren om risico uit te drukken identiek zijn aan elkaar). Voor een willekeurig punt (zeg P) in een assenstelsel waarin intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen tegen elkaar zijn uitgezet is het risico dan ook gelijk aan de tangens van de hoek die het lijnstuk OP met de X -as maakt (zie *Afbeelding 17*). De tangens van de hoek POP' in *Afbeelding 17* is immers gelijk aan de dichtheid van slachtofferongevallen van punt P (lijnstuk PP') gedeeld door de intensiteit van punt P (lijnstuk OP').

Analoog is het risico voor punt Q in *Afbeelding 17* gelijk aan de tangens van hoek QQQ' . De vergelijking van de rechte lijn door de punten P en Q is in *Afbeelding 17* aangegeven als $y = bx + a$. In deze vergelijking is a het intercept dat aangeeft waar de lijn door P en Q de Y -as snijdt. Bewezen kan worden dat voor alle lijnen die de Y -as bij a snijden, geldt dat:

- als $a > 0$, dan gaat een toename van de intensiteit gepaard met een *afname* van het risico;
- als $a < 0$, dan gaat een toename van de intensiteit gepaard met een *toename* van het risico;
- als $a = 0$, dan blijft het risico bij een toename van de intensiteit *onveranderd*.

Bovendien is de sterkte van de af- dan wel toename van het risico direct gerelateerd aan de grootte van de waarde van het intercept a : hoe groter de waarde van a , des te sterker de af- of toename in risico. Het opmerkelijke is dat de richtingscoëfficiënt b van de vergelijking van de rechte lijn door P en Q dus geen enkele invloed heeft op de verandering van het risico.



Afbeelding 17. De geometrie van risico.

Hiermee is tevens een antwoord gegeven op de vraag uit *Paragraaf 2.3* hoe het snijpunt van de kencijferlijn met de Y-as (het intercept) moet worden geïnterpreteerd. Het teken van het intercept geeft aan of er sprake is van een risicodaling dan wel –stijging, terwijl de waarde van het intercept gelijk is aan de sterkte van de verandering in risico. Aangezien de lijn $y = bx + a$ in *Afbeelding 17* de Y-as in het positieve deel van de Y-as snijdt, geldt in deze afbeelding dat een stijging in de intensiteit gepaard gaat met een afname van het risico.

In *Hoofdstuk 2* van dit rapport is de procedure besproken waarmee in het programma ARLI wordt vastgesteld wat de nieuwe ongevallendichtheid van een wegdeel zal worden, indien de intensiteit op dat wegdeel verandert. De huidige ongevallendichtheid en intensiteit van het wegdeel worden als punt in het assenstelsel van *Afbeelding 17* uitgezet en de lijn door dit punt evenwijdig aan de kencijferlijn wordt gebruikt om af te lezen met welke ongevallendichtheid een bepaalde intensiteitverandering gepaard zal gaan (zie *Paragraaf 2.2* voor de details van deze procedure). Als we er even van uitgaan dat lijnstuk *PQ* in *Afbeelding 17* de kencijferlijn representeert en dat het punt van een individueel wegdeel zich op ongeveer één derde van het lijnstuk *PP'* bevindt, dan zal de lijn door dit punt evenwijdig aan de kencijferlijn de Y-as in het negatieve gedeelte van de Y-as snijden. Gezien de bovenstaande uiteenzetting over de betekenis van dit snijpunt in termen van risico, betekent dit dat de in ARLI geïmplementeerde procedure ertoe kan leiden dat de kencijferlijn bij toenemende intensiteit een *afname* in het risico vertoont, terwijl het individuele wegdeel bij toenemende intensiteit juist een *toename* in het risico laat zien. Dit lijkt niet erg realistisch.

Terugkerend naar de bespreking van de verkeersonveiligheid op autosnelwegen wordt het met bovenstaand inzicht in de geometrie van het risico gemakkelijker de risico-ontwikkelingen in *Afbeeldingen 14, 15 en 16* af te lezen. Kijken we naar de waarden van de intercepten in de vergelijkingen van de regressielijnen in deze afbeeldingen, dan blijkt dat het risico bij alle drie de wegtypen in de laagste intensiteitklasse afneemt naarmate de intensiteit toeneemt: de intercepten van de regressievergelijkingen in de laagste intensiteitklasse zijn allemaal negatief. In de middelste intensiteitklassen neemt het risico bij een toename van de intensiteit daarentegen consequent toe, om in de hoogste intensiteitklassen weer consequent af te nemen.

Aangezien de intercepten in opeenvolgende intensiteitklassen consequent van teken veranderen, vertegenwoordigt een 'knik' in de regressielijnen van *Afbeeldingen 14 t/m 16* steeds een omslag van een stijging naar een daling van het risico, of omgekeerd. De omslagintensiteiten liggen voor rijbanen met twee rijstroken bij 14.000 en 46.000 motorvoertuigen per dag en voor rijbanen met drie rijstroken bij 60.000 en 77.000 motorvoertuigen per dag. Laten we de hoogste intensiteitklasse van de rijbanen met vier rijstroken buiten beschouwing, dan hebben deze rijbanen feitelijk maar één omslagintensiteit, namelijk 70.000 motorvoertuigen per dag.

De procentuele verdeling van de kilometers weglengte over de intensiteitklassen is als volgt (zie *Tabellen 2, 3 en 4*):

- twee rijstroken: 24%, 72% en 4%;
- drie rijstroken: 62%, 30% en 6%;
- vier rijstroken: 66%, 33% en 1%.

Deze verdelingen geven aan dat het merendeel van de rijbanen met twee rijstroken een risicostijging ondergaan bij een toename van de intensiteit (tussen de 14.000 en 46.000 motorvoertuigen per dag met een gemiddelde van 26.442, zie *Tabel 2*). Het merendeel van de rijbanen met drie en vier rijstroken vertoont een risicodaling bij een toename van de intensiteit (respectievelijk tot 60.000 en 70.000 motorvoertuigen per dag met gemiddelden van 44.884 en 56.079, zie *Tabellen 3 en 4*).

De veranderingen van de risico's binnen de intensiteitklassen zijn echter niet overal even sterk. Voor rijbanen met *twee rijstroken* is de risico-verandering relatief zwak in de laagste twee intensiteitklassen, want de intercepten van de regressielijnen in deze klassen zijn respectievelijk gelijk aan 0,0044 en -0,0538 (zie *Afbeelding 14*). Ook de hoogste intensiteit-klasse van dit wegtype vertoont, met een intercept van 0,162, geen grote risicoverandering.

Op rijbanen met twee rijstroken nemen de gemiddelde waarden van het risico, gewogen naar weglengte, toe naarmate de intensiteitklassen hoger worden. De verschillen tussen de gemiddelde risicowaarden in de laagste en middelste intensiteitklasse (respectievelijk 0,040 en 0,042 slachtoffer-ongevallen per miljoen gereden motorvoertuigkilometers) zijn echter niet significant. Het gemiddelde risico voor de hoogste klasse (0,049) is wel significant hoger dan dat voor de middelste klasse (0,042).

In vergelijking met de rijbanen met twee rijstroken vertonen de rijbanen met *drie rijstroken* veel sterkere risicoveranderingen (zie *Afbeelding 15*). Gezien de waarde van het intercept in de regressievergelijking is de afname van het risico in de laagste intensiteitklasse sterker (0,2483) dan bij rijbanen met twee rijstroken; in de middelste intensiteitklasse is de toename in risico sterker (-2,559).

De gemiddelde risicowaarden voor de intensiteitklassen van de rijbanen met drie rijstroken verschillen daarentegen niet noemenswaard van die van de rijbanen met twee rijstroken (vergelijk de risico's per miljoen mvt-km van *Tabel 2* met die van *Tabel 3*). De gemiddelde risicowaarden nemen weliswaar toe bij hogere intensiteitklassen (respectievelijk 0,044, 0,048 en 0,049), maar de verschillen tussen deze kencijfers zijn niet significant.

Ten opzichte van de rijbanen met drie rijstroken steken die met *vier rijstroken* ongunstig af door een lagere risicodaling in de laagste intensiteit-klasse: het intercept van de regressievergelijking in deze klasse is slechts 0,0432 (zie *Afbeelding 16*). Bovendien is de risicostijging in de middelste intensiteitklasse met een intercept van -11,779 vele malen sterker dan die bij rijbanen met twee of drie rijstroken.

De gemiddelde risicowaarde van de laagste intensiteitklasse (0,046) ligt in dezelfde orde van grootte als die van de laagste intensiteitklassen van de rijbanen met twee en drie stroken, maar het gemiddelde risico voor de middelste intensiteitklasse is belangrijk hoger (0,076). Gecombineerd met de sterke risicostijging in deze klasse bij toename van de intensiteit geeft dit aanleiding tot nader onderzoek naar de oorzaken en de gevolgen voor de praktijk. Van de hoogste intensiteitklasse is al eerder gemeld dat deze te weinig gegevens bevat voor serieuze interpretatie. Ook al treedt er bij een intensiteit van 88.000 motorvoertuigen per dag een omslag op waardoor de risico's weer gunstiger worden, dan nog is het risico in de middelste intensiteitklasse buitensporig hoog vergeleken met de risico's in alle andere klassen.

Risico en capaciteit

Teneinde een beter inzicht te krijgen in de inhoudelijke betekenis van de gevonden omslagintensiteiten op de autosnelwegen wordt hieronder bekeken of deze omslagpunten mogelijk samenhangen met onder- dan wel overbezetting van de rijbanen. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van de richtwaarden voor de gemiddelde capaciteit © van doorgaande rijbanen van autosnelwegen. Deze zijn volgens de herziene ROA (Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen, zie CROW, 2002):

- twee rijstroken: $C = 4.650$ pae per uur;
- drie rijstroken: $C = 7.400$ pae per uur;
- vier rijstroken: $C = 10.300$ pae per uur.

Hierin staat 'pae' voor personenauto-equivalent. Dat is de rekeneenheid waarin verschillende voertuigsoorten meetellen voor de bepaling van de intensiteit. In vlak terrein worden middelzware voertuigen op 1,5 pae gewaardeerd en zware voertuigen op 2 pae.

De verhouding tussen maatgevende intensiteit en de capaciteit wordt de Intensiteit/Capaciteit-verhouding genoemd. De toelaatbare //C-verhouding voor de hoofdrijbaan van autosnelwegen is gelijk aan 0,85. Lagere verhoudingen gaan gepaard met een hogere kwaliteit van de verkeersafwikkeling.

Combineren we de bovenstaande capaciteiten met de toelaatbare //C-verhouding van 0,85, dan vinden we de volgende toelaatbare intensiteiten:

- twee rijstroken: 3.953 pae per uur;
- drie rijstroken: 6.290 pae per uur;
- vier rijstroken: 8.755 pae per uur.

Hiermee kunnen de grenswaarden van de intensiteitklassen die in dit onderzoek zijn bepaald, worden beoordeeld op de kwaliteit van de verkeersafwikkeling.

Voor rijbanen met twee rijstroken gelden intensiteitgrenzen van 14.000 en 46.000 motorvoertuigen gemiddeld per dag. Als we even uitgaan van een piekurbelasting van 10% van de gemiddelde dagintensiteit, dan horen bij deze intensiteitgrenzen piekurbelastingen van 1.400 en 4.600 voertuigen per uur. Nemen we verder aan dat het verkeer voor 5% bestaat uit zwaar verkeer, voor 10% uit middelzwaar verkeer en voor 85% uit personenauto's, dan is één motorvoertuig gemiddeld gelijk aan $[(5)(2) + (10)(1,5) + (85)(1)]/100 = 1,1$ pae. De piekurbelastingen van de intensiteitgrenzen uitgedrukt in pae worden dan gelijk aan $(1,1)(1.400) = 1.540$ pae voor de intensiteitgrens van 14.000 motorvoertuigen per dag en $(1,1)(4.600) = 5.060$ pae voor de intensiteitgrens van 46.000 motorvoertuigen per dag.

Voor de laagste intensiteitgrens van rijbanen met twee rijstroken vinden we zo een //C-verhouding van $1.540/4.650 = 0,33$, terwijl de //C-verhouding van de hoogste intensiteitgrens gelijk is aan $5.060/4.650 = 1,09$. De afwikkelingskwaliteit voor de onderste intensiteitgrens ligt ver beneden de bovengenoemde toelaatbare //C-verhouding van 0,85. De afwikkelingskwaliteit van 1,09 voor de bovenste grens ligt echter 28% boven de toelaatbare waarde.

Dit kan betekenen dat de piekurbelasting van 10% in dit geval te hoog is verondersteld. Terugrekenend blijkt dat de toelaatbare intensiteit van 3.953 pae per uur en de toelaatbare //C-verhouding van 0,85 bereikt wordt, als we uitgaan van een piekurbelasting van 7,8% van de dagintensiteit (want uit $//C = I/4.650 = 0,85$ volgt dat $I = 3.953$ pae, hetgeen gelijk is aan $3.953 / 1,1 = 3.594$ voertuigen in het piek uur; dit laatste is weer 7,8% van 46.000

voertuigen per etmaal). Dit wijst erop dat de piekbelasting zich op deze wegen over meerdere uren van de dag heeft uitgespreid. En dat is wat de praktijk ook meldt.

Bezien in termen van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling vormt de bovenste intensiteitklasse van autosnelwegen met twee rijstroken een vreemde klasse. We zagen net al dat de ondergrens van deze klasse bij 10% piekuurbelasting een te hoge //C-verhouding vertoont. De bovenste intensiteitklasse heeft een gemiddelde intensiteit, gewogen naar weglengte, van 57.821 voertuigen per dag (zie *Tabel 2*). Bij een piekuurbelasting van 10% komt dit neer op 6.360 pae per uur en een //C-verhouding van 1,37, hetgeen 61% boven de toelaatbare waarde ligt. Hierbij rijst de vraag of de intensiteiten van deze weggedelen wel juist zijn gemeten. Dit geldt helemaal voor de hoogste geobserveerde intensiteit van 91.000 voertuigen per etmaal in deze klasse. Terugrekenend wordt de toelaatbare //C-verhouding van 0,85 bij deze intensiteit alleen bereikt bij een piekuurbelasting van 4% van de dagintensiteit. Dit is een fysieke onmogelijkheid omdat de dag dan niet lang genoeg zou zijn om deze intensiteit te verwerken. In 24 uur wordt dan immers slechts $(24)(4) = 96\%$ van de totale etmaalintensiteit verwerkt. In het algemeen lijken intensiteiten van meer dan 2500 motorvoertuigen per rijstrook per uur niet realistisch.

Met de aanname van een piekuurbelasting van 10% van de etmaalintensiteit worden de //C-verhoudingen in het piekuur voor de andere twee typen rijbanen:

- drie rijstroken: de intensiteitgrenzen zijn gelijk aan 6.600 en 8.470 pae in het piekuur. De onderste grens heeft een //C-verhouding van 0,89, hetgeen 4,7% boven de toelaatbare verhouding ligt. De bovenste grens heeft een //C-verhouding van 1,14, hetgeen 35% boven de toelaatbare verhouding ligt. Gezien de extreem hoge intensiteiten in de bovenste intensiteitklasse rijzen om dezelfde redenen als bij de rijbanen met twee rijstroken ook bij dit wegtype sterke twijfels aan de betrouwbaarheid van de gegevens van weggedelen met intensiteiten van meer dan 77.000 voertuigen per etmaal;
- vier rijstroken: de intensiteitgrenzen zijn gelijk aan 7.700 en 9.680 pae in het piekuur. De onderste grens vertegenwoordigt een afwikkelingskwaliteit met een //C-verhouding van 0,75. De bovenste grens ligt echter 11% boven de toelaatbare waarde ($//C = 0,94$).

Samenvattend blijken de omslagintensiteiten samen te gaan met de volgende kwaliteit van de verkeersafwikkeling. Bij een piekuurbelasting van 10% worden voor de onderste omslagintensiteiten //C-verhoudingen gevonden van respectievelijk 0,33, 0,89 en 0,75 voor rijbanen met twee, drie en vier rijstroken. Voor de bovenste omslagintensiteiten zijn deze verhoudingen respectievelijk 1,09, 1,14 en 0,94. Dit alles onder de bovengestelde aannames voor de piekuurbelastingen, aandelen zwaar verkeer en gemiddelde capaciteitswaarden van doorgaande rijbanen van autosnelwegen.

Opvallend zijn de consequent hoge //C-verhoudingen voor de bovenste omslagintensiteiten van rijbanen met twee en drie rijstroken, gekoppeld aan de extreem hoge intensiteiten van de weggedelen in de bovenste intensiteitklassen. Zoals hierboven reeds gemeld zijn de intensiteiten van de weggedelen in de bovenste klassen zo enorm hoog dat sterk getwijfeld wordt aan

de betrouwbaarheid van de intensiteitgegevens van deze weggedelen. Zo bezien bestaan de weggedelen in de hoogste intensiteitklassen in werkelijkheid uit *uitbijters* en lijkt de klassengebonden regressieanalyse als bovengrens steeds de maximaal toelaatbare capaciteit te hebben opgespoord.

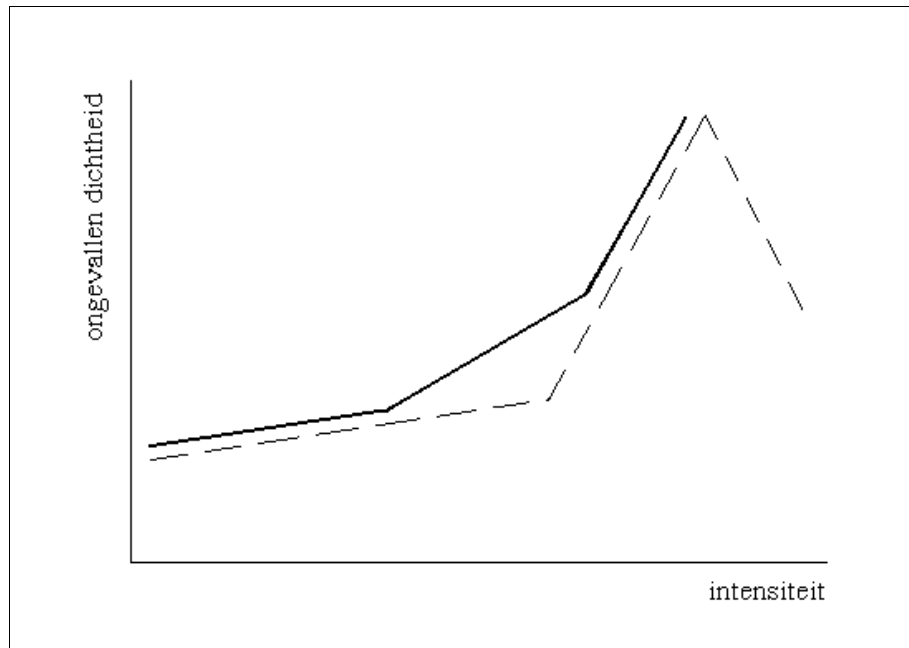
Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Bij alle drie de wegtypen neemt de dichtheid van slachtofferongevallen in de onderste twee intensiteitklassen toe met de intensiteit. Deze toename is steeds sterker in de middenklasse dan in de onderste intensiteitklasse. Het snijpunt van de regressielijn van iedere intensiteitklasse met de Y-as geeft het soort en de sterkte van de risico-ontwikkeling binnen die klasse weer. Hierbij blijkt bij alle drie de wegtypen dat de onderste klasse een risicodaling laat zien, de middelste klasse een risicostijging en de hoogste klasse weer een risicodaling. De klassengrenzen kunnen dus steeds beschouwd worden als omslagpunten voor het risico.

Gezien de procentuele verdeling van de kilometers weglengte over de intensiteitklassen laat de meerderheid (72%) van de rijbanen met twee rijstroken een zwakke risicostijging bij toename van de intensiteit zien, terwijl dit voor de rijbanen met drie en vier rijstroken een zwakke risicodaling betreft (respectievelijk 62% en 66%). De 33% weglengte die de middenklasse van de rijbanen met vier rijstroken uitmaakt, steekt zeer ongunstig af door een buitensporig hoog gemiddeld risico gecombineerd met een sterke risicostijging bij toename van de intensiteit.

Onderzoek naar de kwaliteit van de verkeersafwikkeling voor de gevonden klassengrenzen laat zien dat de bovengrenzen van de rijbanen met twee en drie rijstroken in feite de maximaal toelaatbare capaciteit op deze wegtypen vormen, zodat sterke twijfels rijzen aan de betrouwbaarheid van de intensiteitgegevens van weggedelen in de bovenste intensiteitklassen van deze wegtypen.

Op inhoudelijke gronden en op grond van eerder onderzoek (Janssen, 1986) naar de veiligheidsaspecten van autosnelwegen was de verwachting dat de laagste intensiteitklasse steeds een dalende risico-ontwikkeling te zien zou geven bij toename van de intensiteit, de middelste klasse een ongeveer gelijkblijvende risico-ontwikkeling en de hoogste klasse een stijgende risico-ontwikkeling. De doorgetrokken lijn in *Afbeelding 18* is een voorbeeld van deze verwachte klassengebonden ontwikkeling.



Afbeelding 18. *Verwacht en gevonden resultaat van klassengebonden regressie.*

Het feit dat het risico in de onderste intensiteitklasse daalt bij toenemende intensiteit kan dan in verband worden gebracht met meer clustervorming en het sterker worden van de onderlinge snelheidsbeïnvloeding bij toename van de intensiteit. Het binnen de middelste klasse gelijkblijvende risico wordt verklaard door de onderlinge regulering en homogenisering van de snelheid van voertuigen. De risicostijging in de bovenste klasse hangt tenslotte samen met de turbulentie van het verkeer die toeneemt met de intensiteit; toenemende laterale verplaatsingen en inhaalgedrag. Bij hele hoge intensiteiten vindt er een omslag in de snelheid van voertuigen plaats, waarbij deze gaat afnemen en het verkeer zelfs gedurende kortere of langere tijd geheel stil kan komen te staan.

Voor de gegevens in het ARLI-bestand wordt echter de in *Afbeelding 18* met een onderbroken lijn aangegeven ontwikkeling gevonden, waarbij –zoals boven beschreven- de hoogste intensiteitklasse wordt gevormd door wegdelen met een ontoelaatbare //C-verhouding. Door het in één klasse samenvoegen van dit type wegdelen krijgt de klassengebonden regressie als het ware geen kans een klasse-indeling te vinden die lijkt op de doorgetrokken lijn in *Afbeelding 18*. Het is dan ook de verwachting dat verwijdering van wegdelen met een ontoelaatbare //C-verhouding uit de analyse zal kunnen leiden tot de klassengebonden risico-ontwikkelingen aangegeven met de doorgetrokken lijn. Dit is echter onderwerp van toekomstig onderzoek.

Een ander en ander leidt tot de volgende aanbevelingen:

- toevoegen van gegevens over piekuurbelastingen, aandelen vrachtverkeer en capaciteitswaarden aan de database van ARLI, zodat

hiermee nader onderzoek kan worden gedaan naar de kwaliteit van de intensiteitgegevens in ARLI;

- toevoegen van snelheidsgegevens per uur met intensiteiten en aantallen ongevallen aan de database van ARLI - hiermee kunnen relaties tussen risico en snelheid worden onderzocht;
- hanteren van de in dit rapport beschreven klassengebonden regressie als blauwdruk voor een heranalyse van de gegevens, wanneer betrouwbare intensiteitgegevens zijn verkregen;
- nader onderzoeken van de reden van het geconstateerde extreem hoge risico in de intensiteitklasse van 70.000 tot 88.000 voertuigen per dag voor de rijbanen met vier rijstroken.

5.3. Toetsen voor kencijfers van infrastructurele verschillen op autosnelwegen

In deze paragraaf worden twee laatste toepassingen van de in *Hoofdstuk 3* gepresenteerde toets besproken. Hierbij wordt deze toets aangewend om na te gaan of wegtypen met een verschillende infrastructuur al dan niet significante verschillen in risico vertonen. Tevens wordt ingegaan op de grote gevaren die kleven aan de *interpretatie* van aan infrastructurele aspecten gekoppelde risicoverschillen.

In de eerste toepassing worden de risicocijfers voor autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken met elkaar vergeleken. In het jaar 1998 zijn de gemiddelde slachtofferongevallenrisico's voor deze drie wegtypen respectievelijk 0,040, 0,049 en 0,064. De in *Hoofdstuk 3* gepresenteerde toets laat zien dat het gemiddelde risico zowel voor drie als voor vier rijstroken hoger is dan dat voor twee rijstroken. Deze twee toetsen zijn significant op 5%-niveau. Het verschil tussen de risico's op autosnelwegen met drie en vier rijstroken is daarentegen wel indicatief maar niet significant ($p < 0,10$).

In de tweede toepassing worden twee typen wegdek met elkaar vergeleken: zoab en asfalt. In het bijzonder worden hieronder eerst de risicoverschillen voor zoab en asfalt onderzocht op de autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 100 km/uur. De relevante jaarcijfers voor deze twee wegtypen zijn weergegeven in *Tabel 5*.

Voor de jaarcijfers in *Tabel 5* zijn per jaar toetsen uitgevoerd voor de risicocijfers op zoab en asfalt. Voor dit wegtype blijkt het risicoverschil tussen zoab (0,041) en asfalt (0,054) in 1996 significant te zijn op 5%-niveau. Hetzelfde geldt voor het risicoverschil tussen zoab (0,035) en asfalt (0,047) in 1997. In 1998 is het risicoverschil tussen zoab (0,044) en asfalt (0,065) zelfs significant op 0,5%-niveau. Duidelijk lijkt, kortom, dat dit wegtype met zoab veiliger is dan het vergelijkbare wegtype met asfalt. Onder aan *Tabel 5* wordt aangegeven welke reductie in aantallen slachtofferongevallen zou kunnen worden verwacht in het (hypothetische) geval dat alle asfalt wegen van dit type naar zoab zouden zijn omgebouwd. Voor 1996 zou dit geresulteerd hebben in een reductie van $(185)(0,013/0,054) = 44,5$ slachtofferongevallen, voor 1997 in een reductie van $(143)(0,012/0,047) = 36,5$ slachtofferongevallen en voor 1998 in een reductie van $(160)(0,021/0,065) = 51,7$ slachtofferongevallen.

ZOAB	1996	1997	1998
Aantal slachtofferongevallen	125	132	194
Risico per km	0,61	0,545	0,699*
Risico per miljoen mvt-km	0,041	0,035	0,044*
Standaard afwijking risico	0,143	0,104	0,132
ASFALT			
Aantal slachtofferongevallen	185	143	160
Risico per km	0,800*	0,693*	0,957**
Risico per miljoen mvt-km	0,054*	0,047*	0,065**
Standaard afwijking risico	0,126	0,144	0,148
EFFECT OMBOUW ASFALT NAAR ZOAB			
Risicoreductie per miljoen mvt-km	0,013	0,012	0,021
Te verbeteren expositie	3453	3.056	2.478
Te verbeteren lengte wegdelen in km	231	206	167
Potentiële reductie letselongevallen	44,5	36,5	51,7

* $p < 0,05$, ** $p < 0,005$

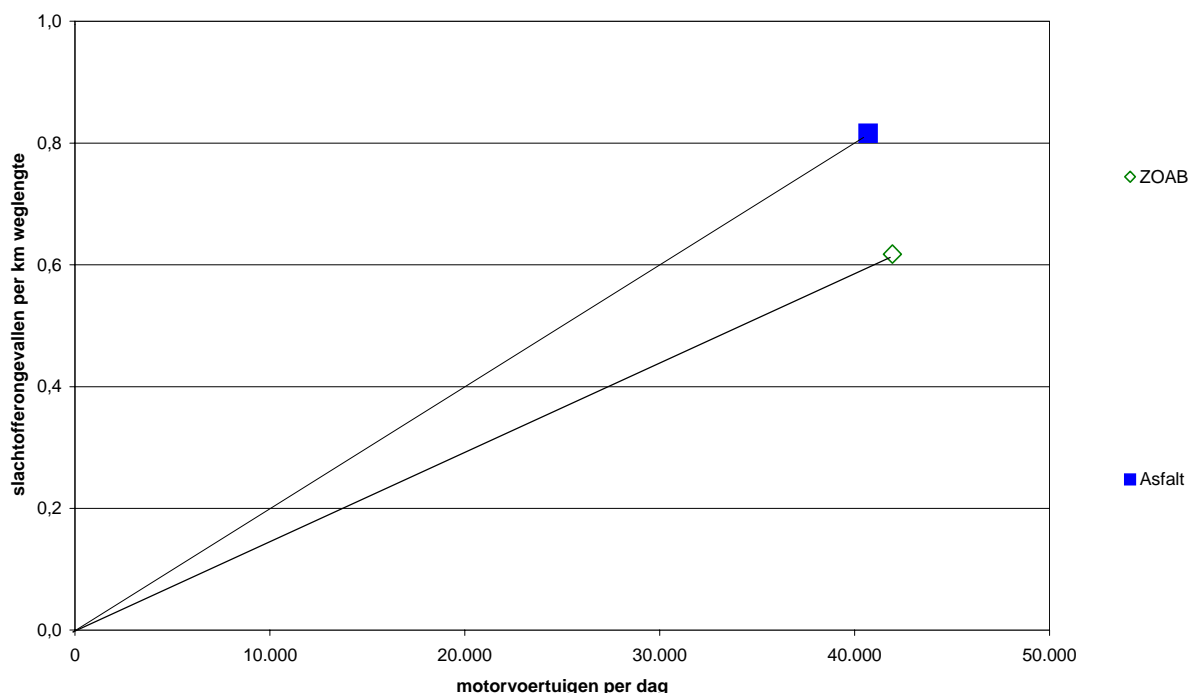
Tabel 5. *Kencijfers voor zoab en asfalt op autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 100 km/uur, uitgesplitst naar jaar.*

In *Afbeelding 19* zijn de dichtheden van slachtofferongevallen van beide wegtypen (zoab en asfalt) in het referentiebestand (1996 t/m 1998) uitgezet tegen de corresponderende etmaalintensiteiten. Ook uit deze grafiek lijkt geconcludeerd te kunnen worden dat van de twee selecties van een vergelijkbaar wegtype (autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 100 km/uur) zoab veiliger is dan asfalt. Verbinden we de punten met de oorsprong dan is de tangens van de hoek van deze lijnen met de X-as immers voor zoab kleiner dan voor asfalt; dat betekent dat het risico voor zoab kleiner is dan voor asfalt. De corresponderende kencijfers zijn respectievelijk 0,041 en 0,054 en de verschiltoets is significant op 0,5%-niveau.

In eerder, specifiek op zoab gericht SWOV onderzoek van Tromp (1993, 1996) werden geen significante verschillen in de verkeersveiligheid gevonden tussen zoab en asfalt op autosnelwegen met twee rijstroken. Dit lijkt in eerste instantie in tegenspraak met het zojuist gevonden significante verschil tussen zoab en asfalt. Vergelijken we echter ditzelfde type wegen in het referentiebestand van ARLI met een snelheidslimiet van 120 km/uur, dan blijken de kencijfers voor zoab en asfalt respectievelijk 0,045 en 0,037 te zijn; de verschiltoets is significant op 0,5%-niveau. Op autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 120 km/uur is zoab dus significant *on*veiliger dan asfalt.

Bij autosnelwegen met twee rijstroken is er blijkbaar sprake van een interactie-effect: bij een snelheidslimiet van 100 km/uur is asfalt onveiliger dan zoab, bij een snelheidslimiet van 120 km/uur geldt juist het omgekeerde. Vergelijken we de kencijfers voor autosnelwegen met twee rijstroken met zoab en asfalt (los van welke snelheidslimiet dan ook), dan is het verschil tussen de kencijfers voor deze twee typen wegdek dan ook niet meer significant. Als er al een verschil is dan blijkt dit bovendien ten gunste van asfalt uit te vallen (0,041 voor asfalt versus 0,044 voor zoab). Ten

slotte blijken autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 120 km/uur significant veiliger te zijn dan die met een snelheidslimiet van 100 km/uur (los van welk wegdek dan ook).



Afbeelding 19. *Etmaalintensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen voor zoab en asfalt op autosnelwegen met twee rijstroken en een snelheidslimiet van 100 km per uur voor de jaren 1996 t/m 1998.*

Zonder verder in te gaan op mogelijke verklaringen voor al deze resultaten, willen we met het bovenstaande vooral laten zien hoe gevaarlijk het kan zijn zomaar conclusies te verbinden aan kencijfers verkregen op grond van twee selecties van weggedelen die ogenschijnlijk alleen op één infrastructureel kenmerk van elkaar verschillen. Dit maakt de in ARLI ingebouwde procedure om de effecten van infrastructurele aanpassingen op de verkeersveiligheid van weggedelen in te schatten (zie ook *Paragraaf 2.2*) dan ook tot een preciaire aangelegenheid.

6. Beperkingen van de data

Zoals reeds in *Paragraaf 2.1* beschreven is de relationele database van ARLI tot stand gekomen op basis van een koppeling van ongevalkenmerken uit het NWB-bestand, van weg- en beheerkenmerken uit het WEGGEG- bestand en van verkeerskenmerken uit het INWEVA-bestand. In dit hoofdstuk wordt een aantal wensen geformuleerd om de kwaliteit van de gegevens en de flexibiliteit van het benaderen van de gegevens te verbeteren. Dit wordt apart gedaan voor de ongeval-, de weg- en de verkeerskenmerken.

6.1. Ongevallenmerken

Per wegdeel van het rijkswegennet zijn in ARLI de volgende jaarlijkse ongevalkenmerken opgenomen: het aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade, het aantal slachtofferongevallen en het aantal slachtoffers. Omdat de observatie-eenheid in ARLI wordt gevormd door het *wegdeel* zijn deze ongevalgegevens noodzakelijkerwijs steeds per wegdeel over één jaar geaggregeerd. Het is in ARLI daardoor niet mogelijk veiligheidsanalyses uit te voeren vanuit de optiek van het *ongeval* of van het slachtoffer als eenheid van observatie. In het kader van verkeersveiligheidsonderzoek zou het heel nuttig zijn niet alleen bepaalde typen van *wegdelen* te kunnen doorrekenen op hun verkeersveiligheid, maar ook bepaalde typen van *ongevallen* te kunnen selecteren en deze vervolgens 'door te rekenen' op hun wegkenmerken. Het zou bijvoorbeeld interessant zijn ongevallen te kunnen selecteren op een bepaalde type van botspartner en/of uitgangspositie vóór de botsing en vervolgens na te kunnen gaan met welke wegsoorten dit ongevaltype geassocieerd is. Het koppelen van gegevens uit de NWB-, WEGGEG- en INWEVA-bestanden zou dan op ongevalniveau moeten worden uitgevoerd door middel van een geografisch plaatsbepalingsstelsel.

6.2. Wegkenmerken en beheerkenmerken

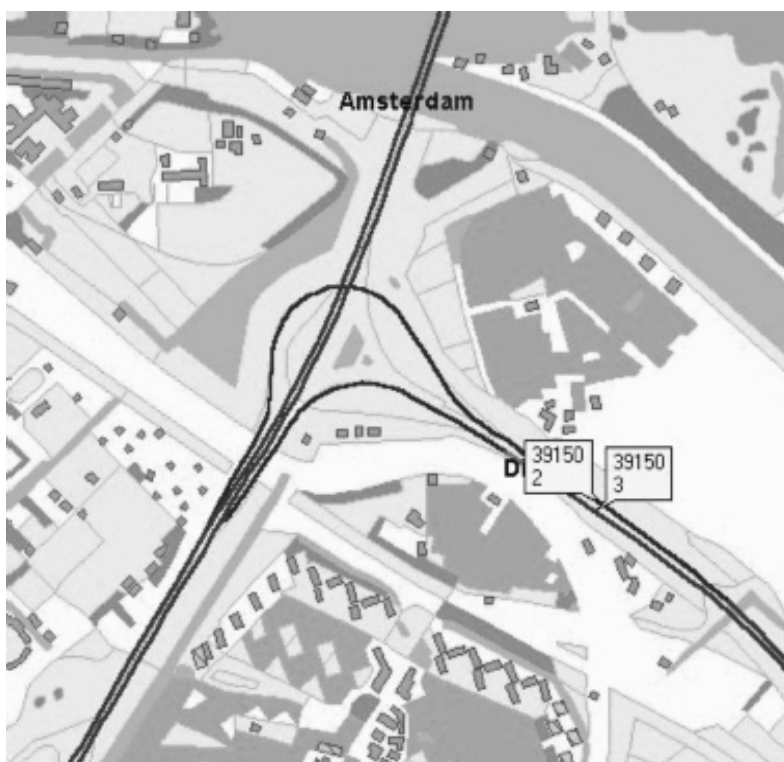
De in ARLI opgenomen wegkenmerken zijn afkomstig uit het WEGGEG-bestand. De gekozen kenmerken bieden goede mogelijkheden voor het beschrijven van belangrijke wegtypen binnen de categorie rijkswegen. De in *Paragraaf 2.1* opgesomde beheerkenmerken ontbreken echter in het door VIA aan de SWOV beschikbaar gestelde bestand. Daardoor is het bij de SWOV niet mogelijk geweest beheerkenmerken op te nemen in het prototype voor het toetsen van verschillen tussen risico's, beschreven in *Paragraaf 3.5*. Met het huidige prototype kunnen administratieve eenheden dan ook onderling niet met elkaar worden vergeleken op hun veiligheidsaspecten.

6.3. Verkeerskenmerken

In ARLI zijn per wegdeel de intensiteiten gemiddeld over één jaar opgenomen. Deze informatie is voor een belangrijk deel afkomstig uit het INWEVA-bestand. Het INWEVA-bestand bevat echter meer gedetailleerde informatie over dit verkeerskenmerk, waaronder de verdeling van de intensiteit over de werkdagen en de weekeinden. Het gebruik van deze

gegevens zou nuttig zijn om een aantal belangrijke risicocijfers vast te kunnen stellen. De SWOV hoopt dan ook dat deze gegevens in een volgende versie van ARLI alsnog beschikbaar worden gesteld. Het percentage zwaar verkeer is wel opgenomen in ARLI maar was niet beschikbaar in het aan de SWOV geleverde bestand, zodat ook deze variabele niet in het prototype kon worden opgenomen.

Niet alle in ARLI gekoppelde intensiteitgegevens zijn afkomstig uit het INWEVA-bestand. Omdat van sommige weggedelen de intensiteiten ontbreken in INWEVA bevat de ARLI database ook schattingen en interpolaties van etmaalintensiteiten van weggedelen die gebaseerd zijn op andere bronnen dan het INWEVA-bestand. De etmaalintensiteiten in de ARLI-database zijn dus van uiteenlopende kwaliteit en betrouwbaarheid. Dit heeft duidelijk gevolgen voor de resultaten van de veiligheidsanalyses. Zoals in *Hoofdstuk 5* bijvoorbeeld uitgebreid aan de orde is gekomen, lijken de enorm hoge intensiteiten die in de bovenste intensiteitklassen van autosnelwegen worden aangetroffen te wijzen op onbetrouwbare gegevens. Helaas is het in de huidige database niet mogelijk te achterhalen uit welke bron de intensiteit van een bepaald wegdeel afkomstig is.



Afbeelding 20. Wegdeel op de A1 bij Amsterdam, met twee rijstroken in westelijke richting en drie in oostelijke richting en gelijk toegedeelde etmaalintensiteiten.

Ten slotte zijn er vraagtekens te plaatsen bij de toedelingmethode van intensiteiten over de twee rijrichtingen van een wegdeel. Op een aantal weggedelen zijn de intensiteiten per rijrichting vastgesteld door de 'spanning' tussen twee knopen in gelijke mate te verdelen over de twee rijrichtingen. In *Afbeeldingen 20 en 21* zijn twee voorbeelden gegeven van bestaande

wegdelen waarvan de infrastructuur twijfels doet rijzen over de juistheid van het in gelijke mate verdelen van etmaalintensiteiten over beide rijrichtingen. De westelijke rijrichting van het in *Afbeelding 20* getoonde wegdeel bestaat uit twee rijstroken, terwijl de oostelijke rijrichting uit drie rijstroken bestaat. Toch wordt er vanuit gegaan dat de gemiddelde etmaalintensiteiten in beide rijrichtingen gelijk zijn aan elkaar. In *Afbeelding 21* is een soortgelijke situatie weergegeven, maar nu met drie rijstroken in oostelijke richting en vier rijstroken in westelijke richting. In deze situaties is het natuurlijk niet onmogelijk dat de werkelijke intensiteiten inderdaad gelijk zijn in beide rijrichtingen, maar dat dit altijd opgaat, is zeer onwaarschijnlijk. Bij een gelijke toedelingmethode wordt hier echter zonder meer van uitgegaan.



Afbeelding 21. Wegdeel op de A12 bij het knooppunt Oudenrijn bij Utrecht, met drie rijstroken in oostelijke richting en vier in westelijke richting en gelijk toegedeelde etmaalintensiteiten.

7. Discussie en conclusies

Als aanvulling op de veiligheidsanalyses van het programma ARLI is in *Hoofdstuk 3* een toets gepresenteerd waarmee op statistisch verantwoorde wijze kan worden nagegaan of de kencijfers voor twee verschillende wegsoorten al dan niet significant van elkaar verschillen. Hiermee kan beter gefundeerd worden onderzocht of een bepaalde wegsoort veiliger is dan een andere wegsoort. Een vereiste van de voorgestelde toets is dat de wegsoorten die in risico met elkaar vergeleken worden een voldoende aantal observaties bevatten. Als vuistregel kan gehanteerd worden dat het hierbij om minimaal enkele tientallen observaties per wegsoort moet gaan.

Als gevonden wordt dat twee wegsoorten significant van elkaar verschillen in verkeersveiligheid, dan is het bij de inhoudelijke interpretatie van belang hier *geen causale conclusies* aan te verbinden. Vergelijken we in het presentatiebestand van ARLI bijvoorbeeld het kencijfer van alle 14.621 wegdelen van de autosnelwegen met twee rijstroken (0,040) met het kencijfer van alle 2.046 wegdelen van de autosnelwegen met drie rijstroken (0,049), dan blijkt het risico bij drie rijstroken significant veel groter te zijn dan bij twee rijstroken ($p < 0,005$). Het zal duidelijk zijn dat we op grond hiervan niet mogen concluderen dat het weghalen van een rijstrook een toename in de verkeersveiligheid *veroorzaakt*. Noch mag op grond hiervan het omgekeerde worden geconcludeerd: dat het toevoegen van een rijstrook resulteert in een afname van de verkeersveiligheid. Wel kan geconcludeerd worden dat er op autosnelwegen blijkbaar een samenhang bestaat tussen deze infrastructurele verschillen en de verkeersveiligheid. De *verklaring* van deze samenhang hoeft echter helemaal niet te schuilen in twee versus drie rijstroken.

In een analyse van autosnelwegen met twee rijstroken en met een snelheidslimiet van 100 km/uur is in *Hoofdstuk 5* voor alle jaren van het referentiebestand geconstateerd dat dit wegtype met een zoab wegdek significant veiliger is dan het vergelijkbare wegtype met een asfalt wegdek. Ook in dit geval is hiermee niet aangetoond dat het significante verschil in risico door het verschil in wegdek wordt *veroorzaakt*. Allerlei andere niet gemeten of in de analyse betrokken weg- en verkeerskenmerken kunnen net zo goed een verklaring vormen voor het gevonden risicoverschil. Bovendien kan op grond van deze analyse al helemaal niet worden geconcludeerd dat zoab *in het algemeen* veiliger is dan asfalt: zoals in *Hoofdstuk 5* is besproken geldt voor autosnelwegen met twee rijstroken en met een snelheidslimiet van 120 km/uur, dat dit wegtype met zoab juist significant *onveiliger* is dan het vergelijkbare wegtype met asfalt. Vooralsnog lijkt het dus onverantwoord aan infrastructurele verschillen gekoppelde risicocijfers aan te wenden om tot een inschatting te komen van het effect van een infrastructurele aanpassing van wegdelen op de verkeersveiligheid, zoals dat nu in ARLI gebeurt.

In *Hoofdstuk 4* is een meer genuanceerde methode besproken om de samenhang tussen intensiteit en dichtheid van (slachtoffer)ongevallen vast te stellen dan de methode die in ARLI geïmplementeerd is. Bij deze methode, klassengebonden regressie, wordt consequent rekening gehouden met verschillen in weglengte van de geanalyseerde wegdelen.

De methode levert zodanige intensiteitklassen op dat de samenhang tussen intensiteit en de logaritme van de dichtheid van (slachtoffer)ongevallen binnen iedere klasse lineair is; het soort lineaire samenhang mag echter van klasse tot klasse verschillen. De grenzen van de intensiteitklassen zijn zodanig gekozen dat de samenhang tussen de twee variabelen zo goed mogelijk wordt weergegeven. Hierbij wordt uitgegaan van een Poisson-verdeling van het aantal slachtofferongevallen.

Deze methode is gebruikt om de Nederlandse autosnelwegen in drie intensiteitklassen in te delen. Dit is gedaan voor autosnelwegen met twee, drie en vier rijstroken afzonderlijk. De omvang van de betrouwbaarheidsgebieden voor de gevonden optimale klassengrenzen laat zien dat deze klassengrenzen waarschijnlijk een vrij goede benadering vormen van de werkelijke grenzen voor autosnelwegen. Uit deze analyses is gebleken dat de hoogste intensiteitklassen bij rijbanen met twee en drie rijstroken uit wegdelen bestaan met extreem hoge intensiteiten die de toelaatbare capaciteit (ver) overschrijden. De vraag rijst hierbij of deze intensiteiten wel betrouwbaar zijn gemeten.

Opgemerkt dient te worden dat de in dit rapport voorgestelde methoden (monotone regressie, klassengebonden lineaire en gegeneraliseerde lineaire modellen) om de samenhang tussen intensiteit en dichtheid van slachtofferongevallen te onderzoeken niet uitputtend zijn toegepast. In de eerste plaats zou onderzocht kunnen worden of een groter aantal intensiteitklassen tot een significant betere benadering van de gegevens leidt dan die is gevonden voor drie klassen. Probleem hierbij is de enorme toename in rekentijd die dit zou vergen. Voorlopige analyses hebben wel uitgewezen dat het indelen van de intensiteiten in slechts twee intensiteitklassen een minder goede benadering vormt van de relatie tussen intensiteit en ongevallendichtheid dan de hier gehanteerde driedeling. Verder zou het interessant zijn de hier gevonden relaties te valideren door de empirische ontwikkelingen in intensiteit en ongevallendichtheid van individuele wegdelen te onderzoeken. Het referentiebestand van ARLI bevat deze gegevens immers over drie jaren (en het valt te verwachten dat dit aantal in de loop van de tijd alleen maar zal toenemen). De waargenomen ontwikkelingen van de autosnelwegen met twee rijstroken zouden bijvoorbeeld bekeken kunnen worden op uniformiteit en spreiding en vergeleken kunnen worden met de samenhang gevonden in *Hoofdstuk 4*.

Naar aanleiding van bevindingen in dit rapport komt de SWOV tot de volgende aanbevelingen ten aanzien van de veiligheidsanalyses geïmplementeerd in ARLI:

- handhaving van de mogelijkheid wegtypen door middel van de kencijfermethodiek met elkaar te vergelijken op hun verkeersveiligheid, mits de in *Hoofdstuk 3* gepresenteerde toets voor risicoverschillen aan deze analyse wordt toegevoegd;
- de gebruiker bij het selecteren van wegdelen de mogelijkheid bieden intensiteiten in te perken zoals dat wordt beschreven in het prototype besproken in *Hoofdstuk 3*;
- nader onderzoek van de samenhang tussen ongevallendichtheid en intensiteit, vóórdat deze samenhang wordt gebruikt om te komen tot prognoses over het effect van een verandering in intensiteit op de verkeersveiligheid van een wegdeel;

- (vooral nog) geen opname van de mogelijkheid de effecten van infrastructurele veranderingen op de verkeersveiligheid van weggedelen te bepalen.

Ten aanzien van de relationele database die met ARLI kan worden geraadpleegd, komt de SWOV ten slotte tot de volgende aanbevelingen:

- de gebruiker de mogelijkheid bieden na te gaan uit welke bron de etmaalintensiteiten afkomstig zijn, zodat deze kan controleren of risicocijfers gebaseerd zijn op etmaalintensiteiten die berekend zijn, dan wel geschat of geïmputeerd;
- opname van snelheidsgegevens in ARLI, alsook van gegevens over piekbelastingen, aandelen vrachtverkeer en capaciteitswaarden.

Literatuur

CROW (2002). *Handboek wegontwerp wegen buiten de bebouwde kom: stroomwegen*. Publicatie 164b. CROW Kenniscentrum voor verkeer en vervoer, Ede.

Janssen, S.T.M.C. (1986). *Veiligheidscriteria voor verkeersvoorzieningen II. Verslag van de analyses van het eerste wegennet*. R-86-65. SWOV, Leidschendam.

McCullagh, P. & Nelder, J.A. (1989). *Generalised Linear Models*. 2nd edition. Chapman & Hall, London.

SAS Institute (1999). *SAS/STAT® User's Guide, Version 8*. Cary, NC: SAS Institute.

Seber, G.A.F. & Wild, C.J. (1989). *Nonlinear regression*. John Wiley & Sons, New York.

Tromp, J.P.M. (1993). *Verkeersveiligheid en drainerend asfaltbeton (ZOAB)*. R-93-35. SWOV, Leidschendam.

Tromp, J.P.M. (1996). *Drainerend asfaltbeton (ZOAB) en de verkeersveiligheid; vervolgonderzoek ZOAB-II*. A-96-14. SWOV, Leidschendam. [Vertrouwelijk].

VIA (2001). *Verkeersveiligheidsscan Limburg, conceptrapportage*. R04. VIA, Vught.

Bijlage

Bewijs van identiteit tussen twee uitdrukkingen voor risico

Het risico voor één wegdeel i is gedefinieerd als

$$R_i = \frac{S_i}{E_i} \quad (1)$$

met R_i het risico op wegdeel i , S_i het aantal ongevallen per tijdseenheid (bijvoorbeeld een jaar) op wegdeel i en E_i de expositie per tijdseenheid (bijvoorbeeld een jaar) op wegdeel i .

De expositie op wegdeel i is gelijk aan de lengte van wegdeel i maal het aantal voertuigen (de intensiteit) dat per tijdseenheid (bijvoorbeeld een jaar) gebruik maakt van wegdeel i , oftewel

$$E_i = 365 \bar{I}_i L_i = I_i L_i \quad (2)$$

\bar{I}_i is de gemiddelde etmaalintensiteit van wegdeel i , $I_i = 365 \bar{I}_i$ is het aantal voertuigen per jaar op wegdeel i en L_i is de lengte van wegdeel i . Hiermee is het risico in (1) dus ook te schrijven als

$$R_i = \frac{S_i}{I_i L_i} \quad (3)$$

Het risico van een wegdeel i is echter ook gelijk aan de ongevallendichtheid op dat wegdeel gedeeld door het aantal voertuigen per tijdseenheid, oftewel

$$R_i = \frac{D_i}{I_i}, \quad (4)$$

met D_i de ongevallendichtheid van wegdeel i .

De ongevallendichtheid is gedefinieerd als het aantal ongevallen per tijdseenheid gedeeld door de weglengte:

$$D_i = \frac{S_i}{L_i} \quad (5)$$

Substitutie van (5) in (4) levert

$$R_i = \frac{D_i}{I_i} = \frac{S_i / L_i}{I_i} = \frac{S_i}{I_i L_i}, \quad (6)$$

waarmee bewezen is dat (3) en (4) inderdaad identiek zijn.

