

# **De invloed van voertuigmassa, voertuigtype en type botsing op de ernst van letsel**

Ir. L.T.B. van Kampen

R-2000-10



# **De invloed van voertuigmassa, voertuigtype en type botsing op de ernst van letsel**

Analyse van ongevallen- en voertuiggegevens uit de jaren 1996 - 1997

R-2000-10  
Ir. L.T.B. van Kampen  
Leidschendam, 2000  
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

## Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2000-10
Titel:	De invloed van voertuigmassa, voertuigtype en type botsing op de ernst van letsel
Ondertitel:	Analyse van ongevallen- en voertuiggegevens uit de jaren 1996 - 1997
Auteur(s):	Ir. L.T.B. van Kampen
Onderzoeksmanager:	Ir. S.T.M.C. Janssen
Projectnummer SWOV:	57.209
Projectcode opdrachtgever:	PRDVL 98.600
Opdrachtgever:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Trefwoord(en):	Safety, car, delivery vehicle, weight, head on collision, sideways collision, rear end collision, obstacle, collision, accident rate, injury, severity (accid, injury), driver, statistics, evaluation (assessment), Netherlands.
Projectinhoud:	De auto's van het Nederlandse autopark worden gemiddeld steeds zwaarder. Het blijkt bovendien dat de massaverschillen tussen voertuigen onderling groter worden. Dit rapport doet verslag van een studie naar de botsveiligheid van personenauto's en bestelauto's, gebaseerd op ongevallen- en voertuiggegevens uit de jaren 1996 en 1997. Hierbij is de invloed bepaald van de voertuigmassa, het type botsing en het voertuigtype op de letselernst van bestuurders en hun tegenpartij. Ook is de mate van botsveiligheid van individuele autotypen onderling vergeleken.
Aantal pagina's:	46 + 2 blz.
Prijs:	f 22,50
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2000

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

## Samenvatting

In opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer heeft de SWOV een onderzoek naar de botsveiligheid van personenauto's en bestelauto's uitgevoerd. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van een bestand waarin gegevens van ongevallen in de jaren 1996 en 1997 gekoppeld zijn aan voertuiggegevens van diezelfde periode. Met deze gegevens is de invloed bepaald van de voertuigmassa, het type botsing en het voertuigtype op de letselernst van bestuurders en hun tegenpartij. Ook is de mate van botsveiligheid van individuele autotypen onderling vergeleken.

De auto's uit het Nederlandse autopark worden gemiddeld steeds zwaarder doordat alle nieuwe individuele autotypen een steeds groter ledig gewicht krijgen. Het blijkt bovendien dat hierdoor de massaverschillen tussen voertuigen onderling groter worden.

Bij frontale botsingen, flankbotsingen en achteraanrijdingen bleek de invloed van de voertuigmassa zeer groot te zijn; hoe zwaarder het voertuig, hoe gunstiger de afloop voor de bestuurder. Bij botsingen tegen een obstakel bleek er nagenoeg geen invloed van voertuigmassa te zijn.

Ook het type botsing heeft invloed op de afloop ervan. Een frontale botsing is gemiddeld gezien ernstiger dan een flankbotsing, en deze beide zijn weer ernstiger dan een achteraanrijding. Obstakelbotsingen lopen het slechtst af. Buiten de bebouwde kom hebben botsingen gemiddeld een ernstiger afloop dan binnen de bebouwde kom; dit hangt samen met de botssnelheden.

De botsveiligheid van individuele voertuigtypen is beschouwd aan de hand van de EV-index als maat voor de inzittendenveiligheid, en de AI-index als maat voor de agressiviteit, dat wil zeggen de mate van letselernst bij de tegenpartij. Deze indexen hangen (sterk) samen met de voertuigmassa. Er is een factor negen verschil tussen de laagste (beste) EV-score en de hoogste (slechtste) EV-score. Ook zijn er grote onderlinge verschillen in de AI-scores.

De grote verschillen in botsveiligheid zijn het gevolg van de traditionele bouw- en testwijze van voertuigen. Met eenzijdige testen op barriers wordt de veiligheid voor de inzittenden in de gaten gehouden, maar wordt geen rekening gehouden met de (voertuigmassa van de) tegenpartij. Het gevolg is een botsagressiviteit die toeneemt met de voertuigmassa.

Verbetering van de botsveiligheid door de botsagressiviteit te verminderen en de veiligheid voor inzittenden te behouden of verder te verbeteren, vraagt om diepergaand onderzoek, bij voorkeur in een internationaal samenwerkingsverband tussen overheden, onderzoeksinstanties en fabrikanten. Een voorbeeld hiervan is het zogenaamde EuroNCAP-test-programma.

Op grond van deze studie wordt aanbevolen een alternatieve botstest-methode te ontwikkelen als aanvulling op de bestaande (eenzijdige) frontale wettelijke botstest. Aanbevolen wordt deze aanvullende test vooralsnog op te nemen in het EuroNCAP-programma.

Tevens wordt aanbevolen om regelmatig botsveiligheidsanalyses uit te voeren, zoals in deze SWOV-studie is gebeurd. Hiervoor dient het gekoppelde-gegevensbestand voortdurend aangevuld te worden met gegevens van recentere jaren. Het wordt dan mogelijk de ontwikkelingen in de botsveiligheid te blijven volgen door de EV- en AI-index te hanteren.

## Summary

### **The effect of vehicle mass, vehicle type and collision type on the seriousness of injury; Analysis of accident and vehicle data during the period 1996 - 1997.**

SWOV conducted research into the passive safety of cars and vans as commissioned by the Netherlands Transport Research Centre. This research utilized accident data between 1996 and 1997 and this was linked to vehicle data from the same period. This information was used to determine the effect of vehicle mass, the collision type and the type of vehicle on the seriousness of injury to the driver and the other party. The degree of passive safety of individual car types was also compared.

Cars in the Netherlands have become heavier on average since all new types of car have an increasing kerb weight. As a result of this it appears that differences in mass between vehicles are also increasing.

Vehicle mass seems to have an enormous effect on head-on collisions, side collisions and rear-end collisions. The heavier the vehicle, the more favourable the consequences for the driver. Vehicle mass appears to have almost no effect on collisions with an obstacle.

The type of crash also affects its outcome. A head-on collision is considered to be more serious on average than a side collision, and both are more serious than a rear-end collision. Collisions with an obstacle have the worst outcome. Collisions outside urban areas have a more serious outcome on average than collisions in urban areas. This is linked to collision speeds.

The passive safety of individual types of vehicle was determined using the EV index as a measure of safety of occupants and the AI index as a measure of aggressiveness, in other words the extent of injury to the other party. These indexes are (strongly) linked to vehicle mass. The lowest (best) and highest (worst) EV scores differ by a factor of nine. There are also large differences between the AI scores.

The large differences in passive safety are the result of traditional methods of vehicle construction and testing. With single vehicle tests on barriers the safety of occupants was observed, but the vehicle mass of the other party was not taken into consideration. The result is that collision severity increases with vehicle mass.

Improving passive safety by reducing collision aggressiveness and maintaining the safety of occupants requires more in-depth research, preferably in the form of international projects between governments, research institutes and manufacturers. An example of this is the so-called EuroNCAP test programme.

As a result of this study, development of an alternative collision test method is recommended as a supplement to the existing legal (single vehicle) head-on collision test. It is advised that this supplementary test be included in the EuroNCAP programme for the time being.

It is also recommended that regular passive safety analysis be carried out, as has taken place in this study by SWOV. Here the linked data should be regularly updated with information from more recent years. It would therefore be possible to follow developments in passive safety by utilizing the EV and AI indices.



# Inhoud

1.	<b>Inleiding</b>	9
2.	<b>Uitvoering van het onderzoek</b>	11
2.1.	Selectie en koppeling	11
2.2.	Samenstelling analysebestand	12
2.3.	Uitvoering analyses	12
3.	<b>Ontwikkelingen in het autopark</b>	14
3.1.	Ontwikkeling van het ledig gewicht	14
3.2.	Zijn auto's veiliger geworden?	15
4.	<b>Analyse van voertuigen met achterschade</b>	17
4.1.	Letselernst	17
4.2.	Invloed massa	17
5.	<b>Analyse van voertuigen met flankschade</b>	19
5.1.	Letselernst	19
5.2.	Invloed massa	20
6.	<b>Analyse van voertuigen met frontale schade</b>	21
6.1.	Letselernst	21
6.2.	Invloed massa	21
7.	<b>Analyse van obstakelbotsingen</b>	23
7.1.	Letselernst	23
7.2.	Invloed massa	23
8.	<b>De botsveiligheid van individuele voertuigtypen</b>	26
8.1.	Beoordelingscriteria	26
8.2.	Statistische criteria	27
8.3.	Vergelijking botsveiligheid	28
9.	<b>Aspecten van massa-invloed</b>	31
9.1.	Massa en massaverschillen	32
9.1.1.	Massaverhouding	33
9.1.2.	Worden massaverschillen steeds groter?	36
9.2.	Massa en voertuiglengte	37
10.	<b>Bespreking van de resultaten</b>	39
10.1.	Invloed van bebouwing	39
10.2.	Massa-afhankelijkheid	39
10.3.	Botsveiligheid van individuele voertuigtypen	39
10.3.1.	Indexen zijn relatief	40
10.3.2.	Overall-score voor botsveiligheid?	40
10.3.3.	Resultaten van de scores	41
10.4.	Internationaal compatibiliteitsonderzoek	42
11.	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	44

<b>Literatuur</b>		46
<b>Bijlage</b>	Autotypen en veiligheidsscores	47

# 1. Inleiding

In 1997 werd een SWOV-onderzoek naar de veiligheid van personenauto's en bestelauto's uitgevoerd in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (Van Kampen, 1998). Hierbij werd de mogelijkheid onderzocht de mate van botsveiligheid van auto's te bepalen door een waarderingscijfer toe te kennen, en de auto's vervolgens te rangschikken in een ranglijst. De conclusie was dat de gebruikte methodiek, waarbij ongevalskenmerken aan voertuigkenmerken werden gekoppeld, in principe geschikt is voor dat doel. Ook werd de methode geschikt geacht om tal van verschillen in botsveiligheid tussen auto's te analyseren. Aanbevolen werd die analyses uit te voeren op basis van een groter gegevensbestand dan in dat onderzoek was gebruikt, door de koppeling van gegevens over verscheidene jaren uit te voeren.

In het onderhavige onderzoeksproject zijn gekoppelde ongevallen- en voertuiggegevens van de jaren 1996 en 1997 geanalyseerd. Hierbij is, evenals in 1997, gebruikgemaakt van gegevens uit het VOR-bestand: de Verkeersongevallenregistratie van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, hoofdafdeling Basisgegevens (AVV/BG). Door koppeling via het kenteken zijn daarin voertuiggegevens toegevoegd, afkomstig van het Kentekenregister van de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW), Centrum voor Voertuigtechniek en Informatie.

Het doel van deze nieuwe analyses is om de invloed van ongevallen- en voertuiggegevens op de afloop van botsingen tussen auto's nader vast te stellen. Een neven doel van het onderzoek is om bij te dragen aan (internationaal gewenste) vermeerdering van kennis over de gelijkwaardigheid van auto's in auto-autobotsingen (compatibiliteit). Bij de bepaling van de compatibiliteit wordt de afloop van de botsing voor de inzittenden van *beide* betrokken auto's meegenomen.

De belangrijkste onderzoeksvragen bij dit onderzoeksproject zijn (in willekeurige volgorde):

- Wat is de invloed van het type botsing (achteraanrijding, flankbotsing, frontale botsing en botsing met een obstakel) op de afloop ervan?
- Wat is de invloed van massaverschil tussen botsende auto's op de afloop van de botsing?
- Welke andere relevante (en beschikbare) kenmerken van ongevallen hebben sterke invloed op de afloop ervan?
- Wat is een bruikbaar criterium om de afloop van botsingen te beoordelen, en daarbij niet alleen de veiligheid van de inzittenden maar ook die van de tegenpartij in acht te nemen?

In het vervolg van dit rapport wordt de methode van uitvoering beschreven (hoofdstuk 2) en de ontwikkeling van het gemiddelde voertuiggewicht (massa) van het Nederlandse voertuigpark (hoofdstuk 3). De vier hoofdstukken die daarop volgen bevatten analyses gericht op telkens één specifiek botstype: achteraanrijding, flankbotsing, frontale botsing en obstakelbotsing. In hoofdstuk 8 wordt de botsveiligheid van individuele voertuigtypen besproken, waartoe een set beoordelingscriteria is gebruikt. Dan volgt in hoofdstuk 9 een nadere analyse van de invloed van

verschillende massa's van botsende auto's op de botsingsafloop.  
De markantste resultaten van deze studie worden bediscussieerd in  
hoofdstuk 10 en hoofdstuk 11 besluit met conclusies en aanbevelingen.

Van de kant van AVV werd het project begeleid door ir. L.H.M. Schlösser.

## 2. Uitvoering van het onderzoek

### 2.1. Selectie en koppeling

De ongevallen- en voertuiggegevens over het jaar 1996 waren reeds gekoppeld en beschikbaar (Van Kampen, 1998). Ter aanvulling hierop zijn van het jaar 1997 uit het VOR-bestand ongevallen met personenauto's en bestelauto's geselecteerd. Binnen deze groep zijn verdere selecties uitgevoerd met betrekking tot botstype, botspartner en aantal betrokken voertuigen.

Als botstypen zijn gekozen frontale botsingen, flankbotsingen, achteraanrijdingen en obstakelbotsingen; voorts zijn alleen records geselecteerd van botsingen tussen personenauto's en/of bestelauto's, dan wel die tussen deze voertuigsoorten en een obstakel. Botsingen met meer dan twee objecten (twee voertuigen of een voertuig en een obstakel) zijn weggelaten. Er is ook geselecteerd op de aangrijppunten van de voertuigen; dit om ervoor te zorgen dat de combinatie van twee botsende voertuigen ook daadwerkelijk bij een beoogd botstype horen. Zo moet bij een achteraanrijding de achterkant van het ene en het front van het andere voertuig zijn geraakt; bij een flankbotsing het front van de ene en de flank van de andere partij; bij een frontale botsing uitsluitend de beide fronten; en bij een obstakelbotsing moet het front van het voertuig het obstakel hebben geraakt.

De aldus geselecteerde records van ongevallen en voertuigen zijn voorzien van voertuiggegevens door koppeling met RDW-gegevens uit het Kentekenregister, volgens de methode die beschreven staat in het rapport van het vorige botsveiligheidsonderzoek (van Kampen, 1998).

Deze methode is enigszins omslachtig en houdt in dat de SWOV een (elektronische) lijst opstuurt aan AVV/BG met per record (dat wil zeggen: geselecteerd voertuig) een VOR-nummer en een objectnummer, die samen een unieke combinatie vormen.

AVV/BG voegt vervolgens aan elk record het bijbehorende kenteken toe, zoals dat alleen in het VOR-bestand bij AVV/BG beschikbaar is, en stuurt de lijst op floppy naar de RDW in Veendam, conform de door de RDW voorgeschreven procedure.

Deze instantie voegt met het kenteken als koppelsleutel de gevraagde voertuigkenmerken toe (merk, type, jaar van afgifte van het kentekenbewijs, ledig gewicht, laadvermogen, enzovoort).

De RDW stuurt de gekoppelde records per tape retour naar AVV/BG. AVV/BG verwijdert na lezing van de tape de kentekens en stuurt de resterende informatie per e-mail naar de SWOV. Dit zijn de SWOV-opgave van het VOR-nummer en objectnummer en de daaraan gekoppelde voertuigkenmerken per record.

Deze procedure van koppeling vraagt, behalve de vrij omslachtige bewerkingen, ook een forse hoeveelheid tijd. De SWOV tracht door overleg met AVV/BG te bereiken dat gekoppelde gegevens voortaan standaard via AVV/BG (op jaarbasis) totstandkomen, zodat deze nuttige gegevens permanent voor analyse beschikbaar zijn.

## 2.2. Samenstelling analysebestand

Evenals bij het vorig onderzoek bleken er bij een aantal ongevalsrecords geen voertuiggegevens aanwezig te zijn, en dienden er foutief gekoppelde gegevens te worden verwijderd. Dit waren gegevens van voertuigen die qua type niet overeenkwamen met de geselecteerde ongevalsvoertuigen.

Het aldus geschoonde bestand (in het vervolg 'botsveiligheidsbestand 1996-1997' genoemd) omvat 12.742 ongevallen en 21.793 auto's (personenauto's en bestelauto's), gespecificeerd naar botstype in *Tabel 2.1*.

Botstype	Ongevallen	Voertuigen
Frontale botsing	1473	2946
Flankbotsing	3672	7344
Achteraanrijding	3906	7812
Obstakelbotsing	3691	3691
Totaal	12742	21793

*Tabel 2.1. Verdeling van het aantal ongevallen en voertuigen naar botstype (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

De omvang van het gekoppelde analysebestand is aanzienlijk kleiner dan het werkelijke aantal ongevallen met personenauto's en bestelauto's. Dit komt vooral door de selectiecriteria die zijn opgelegd om tot een eenduidige typering naar ongevalstype te komen.

Derhalve is de omvang van de problematiek van frontale botsingen, flankbotsingen, achteraanrijdingen en obstakelbotsingen in Nederland groter dan met het geselecteerde bestand wordt aangegeven.

## 2.3. Uitvoering analyses

Om praktische redenen worden de analyses van inzittenden van personen- en bestelauto's beperkt tot bestuurders. Gegevens van bestuurders zijn namelijk bij het VOR-bestand altijd ingevuld, ook als deze niet gewond zijn; bovendien is de zitplaats altijd bekend. Van niet-gewonde passagiers zijn geheel geen gegevens opgenomen, terwijl ook hun zitplaats onbekend is; het is zelfs onbekend of ze voorin of achterin de auto zaten. Praktisch is ook dat er evenveel bestuurders als voertuigen zijn, zodat met deze beperking het rekenwerk vereenvoudigd is.

Om de afloop van botsingen weer te geven is in het VOR-bestand bij individuele slachtoffers aangegeven of deze is overleden, in het ziekenhuis is opgenomen of lichter gewond is.

De letselernstcategorie 'licht gewond' kan nog nader worden gesplitst in de categorieën 'SEH' en 'overig'. SEH duidt de groep slachtoffers aan die voor behandeling op een Spoedeisende Hulpafdeling van een ziekenhuis zijn geweest (en daarna niet zijn opgenomen of overleden). Onder overig vallen vooral slachtoffers die door de huisarts zijn behandeld of die niet door een medicus zijn behandeld.

Uit onderzoek is bekend dat de registratie van doden en ziekenhuisgewonden in het VOR-bestand beter is (vollediger en meer representatief)

dan de registratie van de andere categorieën 'botsingsafloop'. Daarom zal in dit rapport de nadruk liggen op presentatie van de groep ernstig gewonden (doden plus ziekenhuisgewonden).

Voorts wordt bij de analyses waar mogelijk onderscheid gemaakt tussen ongevallen binnen en buiten de bebouwde kom. Bebouwing wordt daarbij gebruikt als een controlevariabele voor de ernst van een ongeval. Hierbij wordt verondersteld dat ongevallen binnen de bebouwde kom minder ernstig zijn dan die buiten de bebouwde kom, vooral doordat er binnen de bebouwde kom een lagere rijsnelheid van toepassing is.

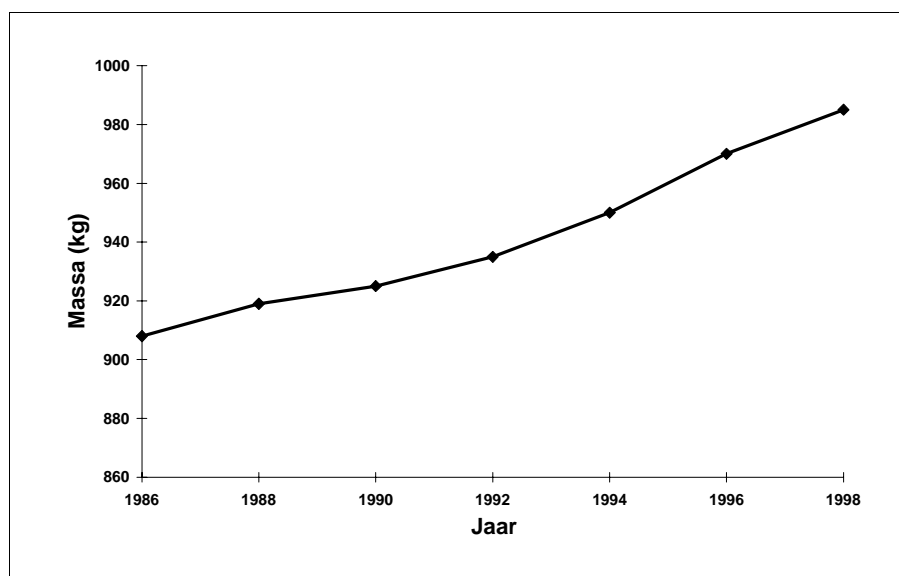
Waar in de volgende hoofdstukken over voertuig(en) wordt gesproken worden zowel personen- als bestelauto's bedoeld, tenzij uitdrukkelijk anders staat aangegeven.

### 3. Ontwikkelingen in het autopark

Er vinden diverse ontwikkelingen plaats van het autopark in Nederland, die direct of indirect invloed hebben op de botsveiligheid. De meeste van deze ontwikkelingen zijn 'autonoom'; ze worden als het ware door de markt bepaald. Die markt is bovendien internationaal, zowel omdat de meeste automobiefabrikanten buiten Nederland gevestigd zijn, als omdat ook de voertuigreglementering op internationale leest is geschoeid. De belangrijkste ontwikkelingen worden hieronder belicht.

#### 3.1. Ontwikkeling van het ledig gewicht

Een opmerkelijke ontwikkeling van auto's - met consequenties voor de botsveiligheid - is de gestage toename van het ledig gewicht (de massa). Dat geldt zowel voor het autopark als geheel (*Afbeelding 3.1*), als voor individuele autotypen, die jaarlijks zwaarder blijken te worden (*Afbeelding 3.2*).



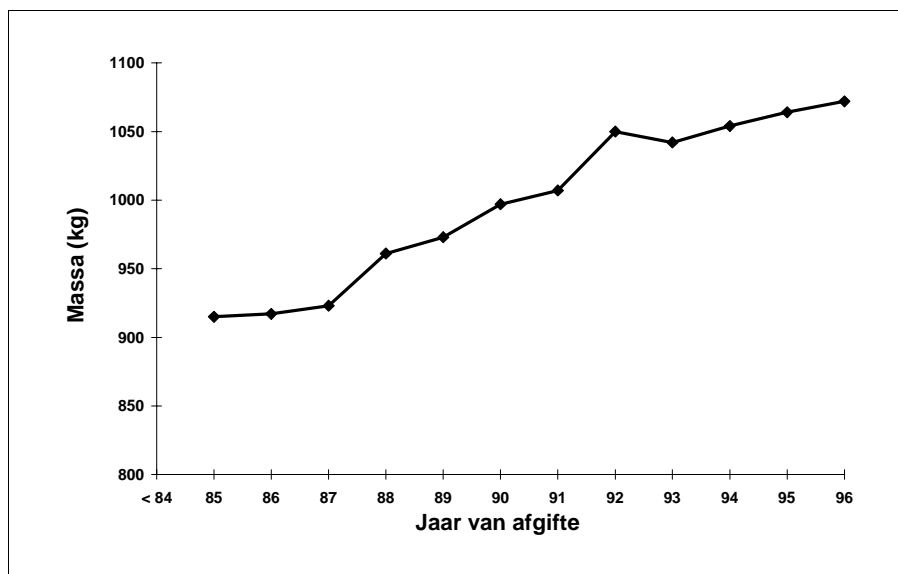
Afbeelding 3.1. De ontwikkeling van het gemiddelde ledig gewicht van personenauto's in het Nederlandse autopark 1986-1998 (CBS).

Het gemiddelde ledig gewicht van alle auto's in het Nederlandse voertuigpark is gestegen van ruim 900 kg in 1986 tot ruim 985 kg in 1998 (*Afbeelding 3.1*). De verwachting is dat dit gemiddelde tegen het jaar 2000 op 1000 kg zal komen.

De stijging van het gewicht van individuele voertuigtypen wordt geïllustreerd in *Afbeelding 3.2*. Als basis hiervoor waren geen CBS-gegevens beschikbaar, maar is geput uit een reeds aanwezig gekoppeld bestand van frontale ongevallen uit 1992-1996.



Hoewel de daarin opgenomen auto's niet noodzakelijkerwijs geheel representatief zijn voor het hele Nederlandse autopark, laat *Afbeelding 3.2* in ieder geval een duidelijke ontwikkeling zien.



*Afbeelding 3.2. Ontwikkeling van het gemiddelde ledig gewicht van nieuwe personenauto's naar jaar van afgifte ('bouwjaar') van voertuigen die bij frontale botsingen betrokken waren; ongevallenbestand 1992-1996.*

De ontwikkeling in ledig gewicht van auto's die bij frontale botsingen waren betrokken, toont aan dat auto's van recentere jaren aanzienlijk zwaarder zijn dan die van eerdere jaren. In ongeveer vijftien jaar tijd is het gemiddelde ledig voertuiggewicht van nieuwe auto's toegenomen van ongeveer 900 kg tot meer dan 1100 kg.

Als we de gegevens uit *Afbeelding 3.1* en *Afbeelding 3.2* combineren, stellen we vast dat, hoewel in 1996 nieuwe personenauto's al ruim boven 1100 kg wegen, het totale autopark daarop achterblijft met een gemiddeld gewicht van (in 1996) circa 970 kg. Dat komt omdat er behalve nieuwe nu eenmaal ook nog veel oudere voertuigen in het autopark zitten, met een lager gemiddeld gewicht.

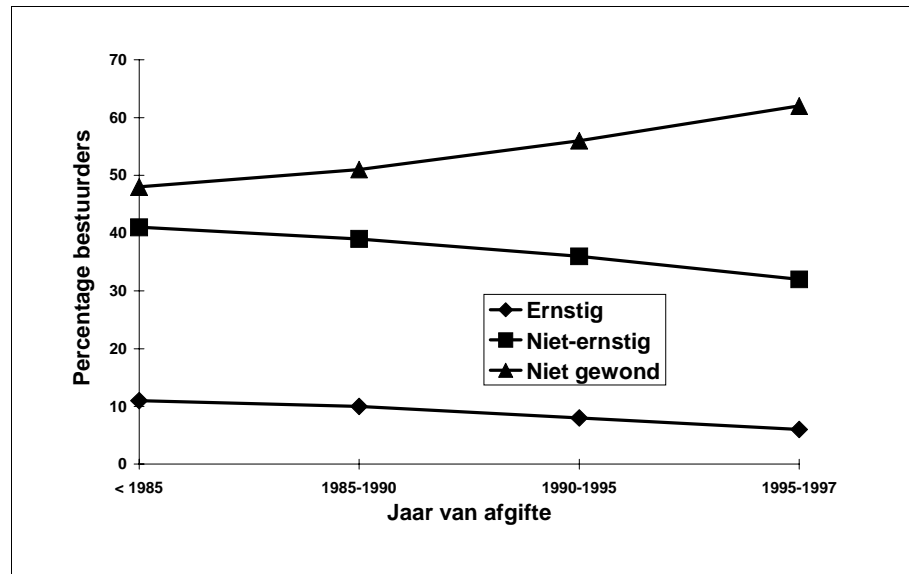
De vraag is of door deze gestage toename van de gemiddelde massa, ook de massaverschillen tussen voertuigen groter worden. Want massaverschil is feitelijk bepalend voor de afloop. Hierop wordt in hoofdstuk 9.

### 3.2. Zijn auto's veiliger geworden?

Vooralsnog beschikken we over beperkte gegevens om vast te stellen of auto's in de loop der jaren daadwerkelijk (bots)veiliger zijn geworden. Tot de gegevens die uit het kentekenbestand van de RDW zijn overgenomen behoort de datum van eerste afgifte van het kentekenbewijs. Dit is een maat voor de ouderdom van de auto. Wat we zouden willen weten is het modeljaar van de auto, het jaar waarin het voertuig als model op de weg kwam. Dat is weliswaar af te leiden uit de bekende gegevens

van merk en type van ieder voertuig, maar dit dient wel handmatig te worden verkregen (uit handboeken). Vooralsnog is dit slechts voor een deel van de in het bestand opgenomen voertuigen gebeurd en de gegevens zijn nog niet beschikbaar voor analyse. Daarom gebruiken we nu toch het jaar van afgifte van het kentekenbewijs als benadering van het modeljaar.

We kijken naar de ontwikkeling in de letsernst bij bestuurders die betrokken waren bij botsingen, als afhankelijke van het jaar van afgifte in het botsveiligheidsbestand 1996-1997. Als ernstmaat nemen we de aandelen ernstig (dood en ziekenhuisopname), niet-ernstig en niet gewond.



Afbeelding 3.3. Verband tussen de aandelen (ernstig) gewonde en niet-gewonde bestuurders en het jaar van afgifte van het kentekenbewijs van personenauto's en bestelauto's (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

Afbeelding 3.3 toont een licht, maar gestaag verloop van afnemende percentages gewonden (ernstig en niet-ernstig) en toenemende percentages niet-gewonden met toenemend jaar van afgifte.

Dit is een aanwijzing dat auto's voor inzittenden (bots)veiliger geworden zijn. Dit zou onder meer een direct gevolg kunnen zijn van de toename van de massa zoals die in de voorgaande paragraaf is getoond. Een ander deel van de gestaag toenemende veiligheid van inzittenden mag ongetwijfeld worden toegeschreven aan verbeteringen van de voertuigstructuur, de verdere verbetering van bestaande beveiligingsmiddelen, zoals autogordels), en de toepassing van nieuwe, zoals airbags.

## 4. Analyse van voertuigen met achterschade

We concentreren ons in dit hoofdstuk op (bestuurders van) personen- en bestelauto's die van achteren zijn geraakt door andere personen- of bestelauto's. De tegenpartijen bij deze botsingen (auto's die aan de voorkant zijn beschadigd en hun bestuurders) komen samen met andere groepen auto's met frontale schade in hoofdstuk 6 aan de orde.

### 4.1. Letselernst

*Tabel 4.1* toont de letselernst bij achteraanrijdingen binnen en buiten de bebouwde kom. De ernst van achteraanrijdingen is betrekkelijk gering, zoals goed te zien is aan de lage aandelen ernstig gewonden en het hoge aandeel niet-gewonden, zowel binnen als buiten de bebouwde kom. Er is tevens weinig verschil tussen de verdeling naar letselernst bij achteraanrijdingen binnen en buiten de bebouwde kom.

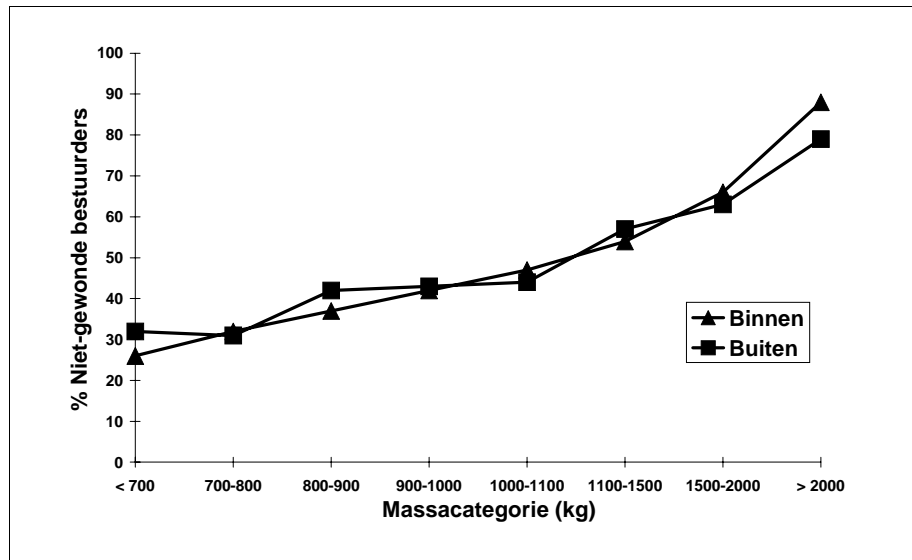
Letselernst	Aandeel bestuurders van voertuigen met achterschade (%)	
	Binnen de bebouwde kom	Buiten de bebouwde kom
Dood	-	0,1
Ziekenhuis	2,8	5,3
SEH	20,8	17,2
Overig	33,3	31,9
Niet gewond	43,1	45,5
Totaal	N = 2157	N = 1749

*Tabel 4.1. Het aandeel bestuurders, onderscheiden naar letselernst, in voertuigen die van achteren zijn geraakt bij achteraanrijdingen. De achteraanrijdingen zijn tevens verdeeld naar bebouwing (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Wat de gewonden betreft, moet nog worden opgemerkt dat nekletsel, dat doorgaans bij dit type botsing ontstaat (ook wel whiplash-letsel genoemd) tot hinderlijke klachten en soms langdurige gevolgen kan leiden. Voorts is ook al bekend dat achteraanrijdingen (kop-staartbotsingen) vrijwel als enig botstype door de jaren heen een zeer forse stijging vertonen, zowel in absoluut aantal als in aandeel (Van Kampen, 1999).

### 4.2. Invloed massa

Zou bij een achteraanrijding een zwaarder voertuig meer bescherming bieden dan een lichter? We tonen het antwoord op deze vraag in *Afbeelding 4*, waarin als letselernstcategorie het aandeel niet-gewonden is opgenomen, omdat de aandelen doden of ernstig gewonden zo klein zijn dat er geen ontwikkeling in te onderscheiden is.



Afbeelding 4.1. Het aandeel niet-gewonde bestuurders in van achter aangereden voertuigen (binnen en buiten de bebouwde kom), afhankelijk van hun voertuigmassa (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

We zien in *Afbeelding 4.1* een duidelijk verband tussen het aandeel niet-gewonde bestuurders en de massa van hun voertuig; dit aandeel neemt toe met toenemende massa. Omgekeerd neemt uiteraard het aandeel gewonden (zowel licht als zwaar) af met toenemende massa. De zwaarste voertuigen beschermen bij achteraanrijdingen hun inzittenden ongeveer een factor drie beter tegen letsel dan de lichtste voertuigen in het bestand.

Er is weinig of geen verschil te zien tussen de invloed van massa bij achteraanrijdingen binnen of buiten de bebouwde kom.

## 5. Analyse van voertuigen met flankschade

In dit hoofdstuk worden de flankbotsingen, dat wil zeggen de (bestuurders van) voertuigen met flankschade beschouwd. Evenals in hoofdstuk 4 zijn de tegenpartijen (auto's met frontale schade en hun bestuurders) buiten deze analyse gehouden; die worden behandeld in hoofdstuk 6.

Er zijn twee groepen flankbotsingen: voertuigen met het aangrijppunt aan de linkerflank (2301), en voertuigen met het aangrijppunt aan de rechterflank (1371).

Dit onderscheid is relevant omdat mag worden verwacht dat bestuurders die in een auto zaten die aan de linkerkant is getroffen ernstiger letsel oplopen dan bestuurders die in een auto zaten met schade aan de rechterflank.

### 5.1. Letselernst

*Tabel 5.1* toont de letselernst van bestuurders van voertuigen met flankschade.

Letselernst	Aandeel bestuurders van voertuigen met flankschade (%)			
	Linkerflank		Rechterflank	
	Bibeko	Bubeko	Bibeko	Bubeko
Dood	0,3	2,8	0,1	2,9
Ziekenhuis	11,2	22	7,8	18,7
SEH	25,6	18,7	18	16,2
Overig	27,7	26	17,9	17,8
Niet gewond	35,2	30,5	56,2	44,4
Totaal	N = 1415	N = 886	N = 821	N = 550

*Tabel 5.1. Het aandeel bestuurders, onderscheiden naar letselernst, in voertuigen die in de linker- of rechterflank zijn aangereden. De flankbotsingen zijn tevens onderscheiden naar binnen de bebouwde kom (bibeko) en buiten de bebouwde kom (bubeko), (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Uit *Tabel 5.1* blijkt dat de letselernst van bestuurders van voertuigen die aan de linkerzijde zijn geraakt hoger is, dan die van aan de rechterflank geraakte voertuigen. Er is binnen de bebouwde kom sprake van 30% minder ernstig gewonde bestuurders van voertuigen met schade aan de rechterflank dan van die met schade aan de linkerflank; buiten de bebouwde kom is het verschil 13%.

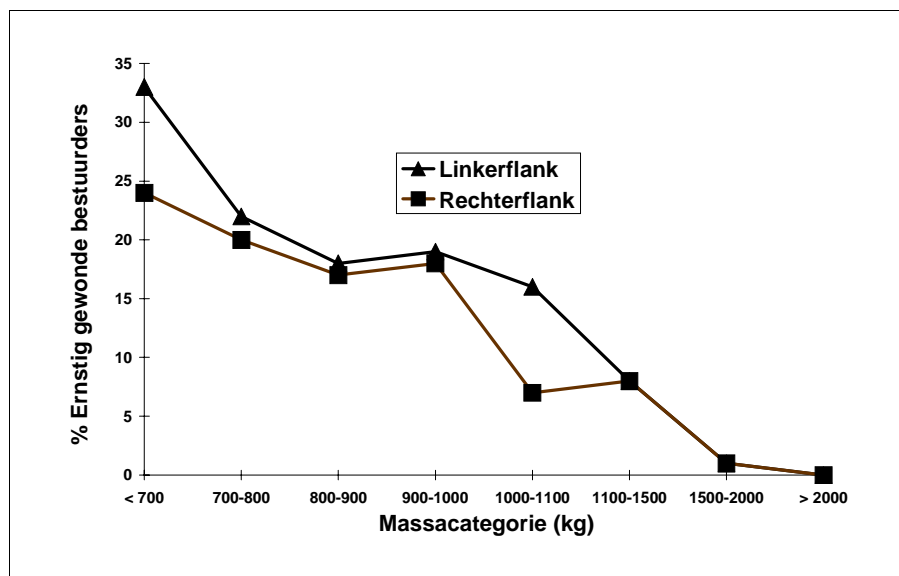
Omgekeerd zien we dat binnen de bebouwde kom het aandeel niet-gewonde bestuurders van voertuigen met rechterflankschade 60% hoger ligt dan dat van voertuigen met linkerflankschade; buiten de bebouwde kom is het verschil 46%.

Bij flankbotsingen buiten de bebouwde kom is het verschil in letselernst tussen bestuurders van voertuigen met linker- en rechterflankschade minder dan verwacht zou kunnen worden. Mogelijk overheerst daar de invloed van de hogere snelheden op de letselernst.

De letselernst bij flankbotsingen is buiten de bebouwde kom inderdaad hoger dan binnen, zowel bij schade links als bij schade rechts.

## 5.2. Invloed massa

Ook bij de flankbotsing gaan we na of de massa van het voertuig van invloed is op de afloop. *Afbeelding 5.1* toont het aandeel ernstig gewonden afhankelijk van de voertuigmassa.



*Afbeelding 5.1. Het aandeel ernstig gewonde bestuurders van voertuigen die getroffen zijn in de linker- of rechterflank, afhankelijk van hun voertuigmassa (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

We zien in *Afbeelding 5.1* een zeer sterk verband tussen het aandeel ernstig gewonde bestuurders en de voertuigmassa, zowel bij een aanrijding van links of van rechts. Dit aandeel loopt bij de zwaarste categorieën voertuigen naar 0, terwijl het bij de lichtste rond de 30% ligt. Zoals we al zagen is een botsing in de linkerflank voor bestuurders gevaarlijker, al zien we wat het verloop met de massa betreft, dat beide flanken bij zwaardere voertuigen dezelfde lage letselernst opleveren.

## 6. Analyse van voertuigen met frontale schade

In dit hoofdstuk komen in feite drie verschillende typen auto-autobotsingen aan de orde, waarbij in alle gevallen alleen de partijen met frontale schade worden meegenomen in de analyse. Het gaat om frontale botsingen, flankbotsingen en achteraanrijdingen. De botsmechanismen bij deze drie botstypen zijn verschillend, maar leiden wel tot frontschade.

Er is nog een ander type botsing waarbij auto's frontale schade oplopen, namelijk botsingen met een obstakel, maar deze worden afzonderlijk behandeld in hoofdstuk 8.

### 6.1. Letselernst

*Tabel 6.1 toont de letselernst van de bestuurders van voertuigen met frontschade in de drie verschillende typen botsingen.*

Letselernst	Aandeel bestuurders van voertuigen met frontschade (%)					
	Frontale botsingen		Flankbotsingen		Achteraanrijdingen	
	Bibeko	Bubeko	Bibeko	Bubeko	Bibeko	Bubeko
Dood	0,5	3,4	-	0,1	-	-
Ziekenhuis	10,1	26	4,7	11	2,4	5,7
SEH	19	14,2	14	12,3	7,3	10,5
Overig	21,9	23,6	15,1	21,2	9,2	12,1
Niet gewond	48,6	32,9	66,3	55,2	81,1	71,6
Totaal	N=1500	N=1446	N=2236	N=1436	N=2157	N=1749

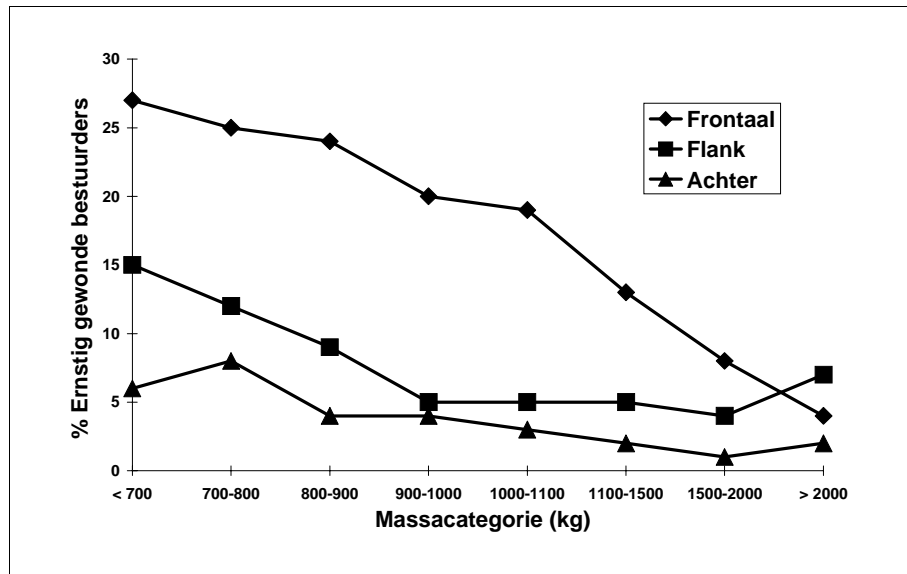
*Tabel 6.1. Het aandeel bestuurders, onderscheiden naar letselernst, in auto's met frontschade die is opgelopen in verschillende typen botsingen. De botsingen zijn tevens onderscheiden naar binnen de bebouwde kom (bibeko) en buiten de bebouwde kom (bubeko), (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

*Tabel 6.1 laat goed zien dat het botstype een belangrijke invloed heeft op de afloop voor bestuurders van voertuigen met frontale schade. Frontale botsingen zijn duidelijk ernstiger dan flankbotsingen, en die zijn weer ernstiger dan achteraanrijdingen. Wat de aandelen ernstig gewonden betreft is er sprake van ongeveer een verhouding 4:2:1, zowel binnen als buiten de bebouwde kom.*

*Bebouwing is van invloed op de afloop: er is bij alle drie botstypen sprake van een twee tot drie keer zo groot aandeel ernstig gewonden buiten de bebouwde kom dan binnen de bebouwde kom.*

### 6.2. Invloed massa

*De massa-afhankelijkheid van de botsingsafloop voor de bestuurders van de voertuigen met frontschade wordt getoond in de navolgende grafiek, waarbij we ons beperken tot het aandeel ernstig gewonde bestuurders.*



Afbeelding 6.1. Het aandeel ernstig gewonde bestuurders van voertuigen met frontale schade, opgelopen in drie typen botsingen, afhankelijk van hun voertuigmassa (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

Afbeelding 6.1 laat zien dat er een sterke relatie bestaat tussen de massa van het voertuig en de botsingsafloop. Deze relatie is het sterkst bij frontale botsingen, waar het aandeel ernstig gewonden afneemt van 27% bij de lichtste voertuigen tot een paar procent bij de zwaarste.

Bij de beide andere botstypen lijkt het aandeel bij de zwaarste voertuigen weer toe te nemen. Maar hierbij moet worden opgemerkt dat het aantal observaties (bestuurders) in die massa categorie zeer klein is, zodat we vermoedelijk met een statistische afwijking te maken hebben.



## 7. Analyse van obstakelbotsingen

Bij obstakelbotsingen is er sprake van één voertuig per botsing, in tegenstelling tot bij de frontale botsing, de flankbotsing en de achteraanrijding.

### 7.1. Letselernst

In *Tabel 7.1* wordt de verdeling naar letselernst en bebouwing getoond van bestuurders; de letselernst is hierbij ingedikt tot ernstig gewond (dood en ziekenhuisopname), niet-ernstig gewond en niet-gewond.

Letselernst	Aandeel bestuurders van voertuigen na een obstakelbotsing (%)		
	Bibeko	Bubeko	Totaal
Ernstig gewond	25,1	46,7	38,1
Niet-ernstig gewond	60	44,3	50,6
Niet gewond	14,9	9	11,3
Totaal	N = 1478	N = 2213	N=3691

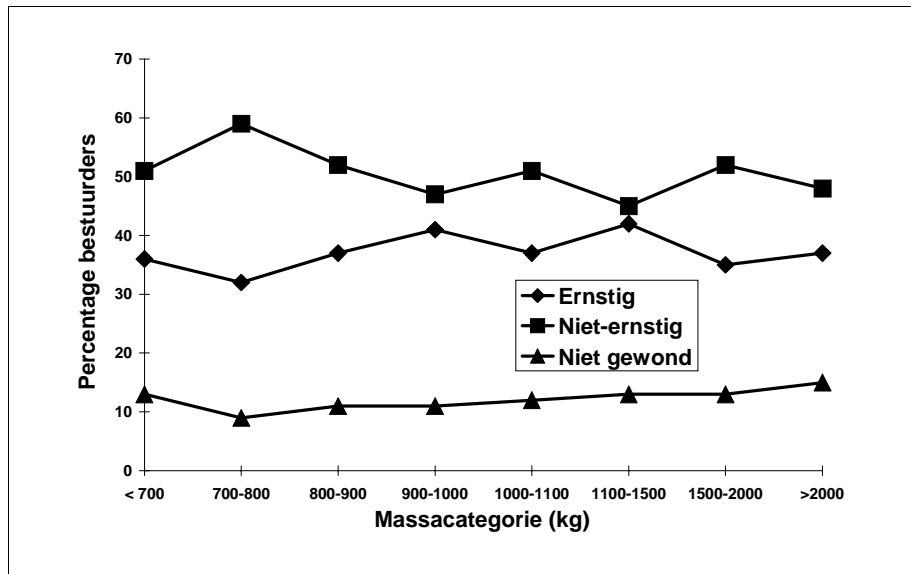
*Tabel 7.1. Het aandeel bestuurders, onderscheiden naar letselernst, in voertuigen die tegen een obstakel zijn gebotst. De achteraanrijdingen zijn tevens verdeeld naar binnen de bebouwde kom (bibeko) en buiten de bebouwde kom (bubeko), (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Gemiddeld hebben we met een ernstig botstype te maken, gezien de 38% ernstig gewonde bestuurders, tegenover circa 10% voor alle typen botsingen in het botsveiligheidsbestand; het aandeel niet-gewonden is dan ook relatief laag.

Vooraf buiten de bebouwde kom levert dit botstype veel slachtoffers (47% ernstig gewonde bestuurders), maar ook binnen de bebouwde kom moeten botsingen tegen obstakels als ernstig worden beschouwd (25% ernstig gewonde bestuurders).

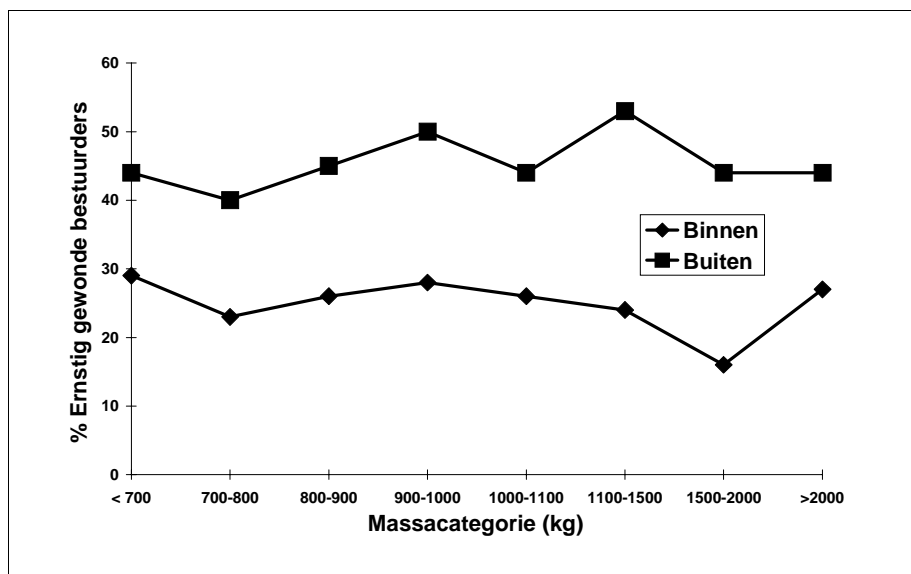
### 7.2. Invloed massa

De vraag is ook bij de obstakelbotsing of de voertuigmassa een rol speelt in de afloop ervan. Daarvoor is *Afbeelding 7.1* samengesteld.



Afbeelding 7.1. Verband tussen de aandelen (ernstig) gewonde en niet-gewonde bestuurders bij obstakelbotsingen en het ledig gewicht van hun voertuig (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

De relatie tussen de massa van het voertuig en de ernst van de botsingsafloop is opvallend gering, al zijn er duidelijk fluctuaties van ongeveer 10 procentpunten op en neer te bekennen. Dat geldt ook bij nadere onderverdeling naar bebouwing, zoals Afbeelding 7.2 laat zien.



Afbeelding 7.2. Het aandeel ernstig gewonde bestuurders bij obstakelbotsingen binnen en buiten de bebouwde kom, afhankelijk van hun voertuigmassa (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

Evenals uit *Afbeelding 7.1*, blijkt ook uit *Afbeelding 7.2* dat er geen trend is waar te nemen in het verloop van de aandelen ernstig gewonde bestuurders met de voertuigmassa. Blijkbaar is de grootte van de voertuigmassa niet of nauwelijks van invloed op de afloop van een botsing met een obstakel. Hoe tegenstrijdig dit ook lijkt (gezien de duidelijke invloed van massa bij andere botstypen), het is goed verklaarbaar. Auto's worden in feite nog steeds primair geconstrueerd op het doorstaan van botsingen tegen vaste obstakels. Zolang daarbij eenzijdige botstesten worden gebruikt (een auto tegen een betonnen object al of niet voorzien van energie-absorberende elementen) is de te dissiperen botsenergie uitsluitend afkomstig van dat ene voertuig. Om een bepaald gewenst resultaat te behalen (zoals een bepaalde maximale voertuigvertraging om binnen een zekere letselkans voor inzittenden te blijven) moet de gemiddelde stijfheid van de constructie afhankelijk zijn van de voertuigmassa. Daarmee vertonen alle auto's die zo zijn geconstrueerd eenzelfde (goed) gedrag bij obstakelbotsingen, ongeacht hun massa.

We komen op dit aspect van de invloed van massa terug in hoofdstuk 9, waar het gaat om de invloed van de onderlinge massaverhouding bij botsingen van twee voertuigen.

## 8. De botsveiligheid van individuele voertuigtypen

### 8.1. Beoordelingscriteria

Om de mate van botsveiligheid en van agressiviteit van voertuigen onderling te kunnen vergelijken en te beoordelen, zijn criteria nodig. Bij het voorafgaande onderzoek over botsveiligheid zijn hiervoor de EV en de AI ontwikkeld (Van Kampen, 1998). EV is een afkorting van 'eigen veiligheid' en AI van 'agressiviteitsindex'.

Beide indexen betreffen het quotiënt van het aantal slachtoffers onder bestuurders en het totaal aantal voertuigen (of bestuurders) van een gegeven type. Bij de EV wordt de teller gevormd door slachtoffers onder bestuurders van het beschouwde voertuigtype en bij de AI gaat het om slachtoffers onder bestuurders van de tegenpartij van dat voertuigtype. Hierbij worden alleen ernstig gewonde slachtoffers (doden en ziekenhuisgewonden) meegenomen.

De indexen zijn afgeleid van een in internationaal verband afgesproken werkwijze, in het kader van de beoordeling van (in)compatibiliteit tussen auto's, naar Amerikaans voorbeeld.

Een gevoelsmatig nadeel van de op deze wijze gedefinieerde EV is, dat deze toeneemt met afnemende botsveiligheid; hoe hoger het aandeel ernstig gewonde bestuurders, hoe hoger wordt immers de EV-score en hoe onveiliger het beschouwde voertuigtype. De EV zou juist moeten toenemen met toenemende botsveiligheid (immers, hoe hoger hoe beter). Bij de AI is het geen probleem, want daar betekent een hoge waarde zowel cijfermatig als gevoelsmatig een hoge mate van agressiviteit. Overwogen is daarom te kiezen voor een andere systematiek.

Een alternatieve index met een dergelijk verloop is ontwikkeld door Braak & Pennings (1998), voor zowel de eigen veiligheid als voor de agressiviteit van een type auto. Een belangrijke eigenschap van deze index is dat is gebruikgemaakt van alle verschillende categorieën van letselernst (dood, ziekenhuisopname, eerste hulp, licht gewond, niet gewond).

De indexwaarden van Braak en Pennings geven enkel een onderlinge rangordening tussen de verschillende autotypen aan. Deze waarden zijn berekend door twee belangrijke factoren mee te wegen: de medische kosten voor verschillende mate van letselernst, en de gemiddelde verdeling van de ongevallen over de verschillende typen botsing. Met deze laatste wegingsfactor kon een gemiddelde index per autotype berekend worden, los van de verdeling over de botstypen van dit voertuigtype in het analysebestand.

Deze gewogen indexen zijn in door Braak en Pennings (1998) consequent toegepast bij alle analyses op basis van voertuiggegevens en persoonsvariabelen, zoals leeftijd en geslacht. Gebleken is daarbij, dat het slechts in zeer geringe mate mogelijk is met dit - op zich zeer deugdelijke - systeem een onderscheid te maken in botsveiligheid tussen voertuigen en tussen persoonsvariabelen. De slechtste en beste voertuigen bleken weinig uit elkaar te liggen. De oorzaak ligt daarin, dat er ten opzichte van alle gewonden betrekkelijk weinig doden en ziekenhuisopnamen in het bestand

zitten (gemiddeld ongeveer 10%), waardoor de andere letselcategorieën konden overheersen.

In het onderhavige project is er daarom voor gekozen terug te vallen op de oorspronkelijke EV en AI, zoals ze zijn gedefinieerd in het botsveiligheids-onderzoek van Van Kampen (1998). Een reden temeer hiervoor is dat dit systeem ook is toegepast in het Europese project "Improvement of crash compatibility between cars" (Van Kampen, 1999).

We zullen dus de volgende twee criteria gebruiken:

EV: criterium voor het beoordelen van de veiligheid van inzittenden van een voertuigtype (vt);

AV: criterium voor het beoordelen van de agressiviteit van een voertuigtype.

Hun definities luiden:

$$EV = \frac{\text{aantal ernstig gewonde bestuurders in voertuigtype A}}{\text{totaal aantal van voertuigtype A in de steekproef}}$$

$$AV = \frac{\text{aantal ernstig gewonde bestuurders in vt B bij botsing met vt A}}{\text{totaal aantal van voertuigtype A in de steekproef}}$$

EV en AV worden uitgedrukt als een score door het berekende quotiënt met 100 te vermenigvuldigen en af te ronden op hele getallen. Het theoretische bereik van de score ligt zo tussen 0 en 100. Als er bijvoorbeeld 30 ernstig gewonde bestuurders zijn van voertuigtype A, bij een totaal van 200 auto's van voertuigtype A in de steekproef, dan is de EV-score  $30/200 \times 100 = 15$ .

## 8.2. Statistische criteria

Beoordeling van de botsveiligheid van individuele voertuigtypen heeft statistisch gezien pas zin als er een voldoende groot aantal van in de steekproef zit. Dit was de reden om de onderhavige studie uit te voeren en een gegevensbestand over twee jaren te gebruiken.

Om de voertuigtypen te kunnen vergelijken op *beide* scores, zijn de records met obstakelbotsingen weggelaten uit het botsveiligheidsbestand 1996-1997; daarbij kan namelijk geen AI-score worden bepaald. Het resulterende analysebestand omvat in totaal 18.102 voertuigen, namelijk het totaal van de 21.793 voertuigen minus de 3.691 voertuigen die betrokken waren bij obstakelbotsingen (zie *Tabel 2.1*).

Een criterium voor selectie is voorts dat een voertuigtype ten minste 100 maal in het betreffende analysebestand moet voorkomen, dus ten minste een aandeel van ongeveer 0,5% heeft. Dit dient ervoor om zo betrouwbaar mogelijke scores voor de geselecteerde voertuigtypen te verkrijgen.

Aan dit selectiecriterium voldoen 44 voertuigtypen, verdeeld over 17 automerken, zie *Bijlage*. De 44 afzonderlijke typen vertegenwoordigen tweederde van alle auto's in het bestand.

De verdeling van deze autotypen in het ongevallenbestand wijkt weinig af van de verdeling van deze typen in het Nederlandse voertuigpark. Dit was ook bij de vorige studie al vastgesteld (Van Kampen, 1998). Dit is een aanwijzing ervoor, dat bepaalde typen voertuigen niet vaker of minder vaak bij letselongevallen zijn betrokken dan andere.

### 8.3. Vergelijking botsveiligheid

In *Tabel 8.1* worden elf autotypen getoond met respectievelijk de hoogste en de laagste EV-scores; tevens zijn hun massa's en AI-scores opgenomen. Een lage EV-score is gunstig; het duidt op relatief weinig ernstig gewonden in het eigen voertuig.

Autotype	Massa (kg)	EV-score	AI-score
De 6 hoogste EV-scores:			
Suzuki Alto	622	19	2
Citroen AX	680	18	4
VW Polo	803	16	5
Volvo 340-360	980	15	8
Toyota Starlet	754	13	7
Suzuki Swift	741	13	6
De 5 laagste EV-scores:			
Mercedes 190-300	1261	6	12
Opel Omega	1333	6	13
VW Passat	1149	4	10
Nissan Primera	1158	2	10
BMW-5	1391	2	16

*Tabel 8.1. Massa, EV- en AI-scores van de autotypen met de hoogste en de laagste EV-scores (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Hoewel de volgorde van EV niet precies die van de massa (het gemiddeld ledig gewicht) volgt, blijkt wel duidelijk uit de tabel dat voertuigtypen met een lage massa een hoge EV-score hebben, terwijl voertuigtypen met een hoge massa juist een lage EV-score hebben.

Het verloop van de AI-score over de betreffende autotypen blijkt in ruwe zin ook te sporen met de veronderstelling dat een hoge AI-score hoort bij voertuigen met een hoge massa (en een lage EV-score).

Bij de Suzuki Alto en de BMW-5-serie (met respectievelijk de hoogste en de laagste EV-score) klopt de theorie precies met de ongevallenfeiten: de eerstgenoemde is de allerlichtste van alle onderscheiden voertuigtypen en heeft de hoogste EV-score (19) en de laagste AI-score (2); de laatstgenoemde is ook daadwerkelijk de zwaarste, heeft de laagste EI-score (2) en de hoogste AI-score (16).

Tussen deze beide uitersten in, zien we een wat minder consistent verband tussen EV- en AI-score, in die zin dat de AI-score in de tabel niet continu oploopt met afnemende EV-score. De AI-scores van de getoonde voertuigtypen blijken daarbij een sterker verband te hebben met de massa dan de EV-scores.

Bij de Suzuki Alto dient overigens aangetekend te worden dat daarin meer vrouwelijke dan mannelijke bestuurders rijden, terwijl uit ander onderzoek inmiddels ook bekend is dat de letselkans van vrouwen wat hoger ligt dan van mannen (Van Kampen, 1999); dat zou een gedeelte van de hoge EV-score kunnen bepalen. Anderzijds rijden voertuigen van dit type vaker binnen de bebouwde kom dan andere voertuigtypen, zodat hierdoor juist een gunstiger score ontstaat. Daarmee is opnieuw aangegeven dat er behalve massa ook andere factoren van invloed zijn op de afloop en dat de EV-score niet uitsluitend aan (de massa van) het voertuig is gebonden.

#### *Botsveiligheid met onderscheid naar bebouwing*

Voor een beperkt aantal voertuigtypen kunnen we controleren of bebouwing van invloed is op de rangorde van de scores. Omdat verwacht kan worden dat de bebouwing samenhangt met rij- en botssnelheid, zou deze als maat kunnen dienen voor de botsernst of ongevalsernst.

We vergelijken voertuigtypen die zowel binnen als buiten de bebouwde kom minstens 100 maal voorkomen. Het criterium 'buiten de bebouwde kom' vormt daarbij de beperking, omdat daar het kleinste aantal ongevallen is genoteerd. *Tabel 8.2* toont de uitkomst van deze vergelijking.

Automerik	Type	EV-score		AI-score	
		Bibeko	Bubeko	Bibeko	Bubeko
BMW	3-serie	7	15	10	22
CITROEN	BX	9	18	9	14
FORD	Escort	6	16	6	12
	Fiesta	5	19	5	10
	Sierra	4	16	6	12
MAZDA	323	4	14	3	13
	626	2	14	8	15
MERCEDES BENZ	190-200-300	3	11	9	14
NISSAN	Sunny	3	15	4	11
OPEL	Astra	5	14	3	16
	Corsa	6	20	3	11
	Kadett	9	16	5	12
	Vectra	3	6	6	22
PEUGEOT	205	8	17	4	9
SUZUKI	Alto	14	*27	1	*4
TOYOTA	Corolla	2	12	2	15
VOLKSWAGEN	Golf	6	12	6	14
	Polo	7	24	3	7
Gemiddelde van alle voertuigen in het bestand		6	14	6	14

\* N=95

*Tabel 8.2. EV- en AI-scores van autotypen die meer dan 100 maal betrokken zijn geweest bij ongevallen binnen (bibeko) en buiten (bubeko) de bebouwde kom (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

*Tabel 8.2* laat zien dat binnen de bebouwde kom de Toyota Corolla en de Mazda 626 de laagste EV-score hebben; buiten de bebouwde kom steekt de Opel Vectra gunstig boven alle andere uit.

De hoogste EV-scores (dus het ongunstigst) vertoont de Suzuki Alto, zowel binnen als buiten de bebouwde kom.

De Suzuki Alto scoort het minst agressief volgens de AI, zowel binnen als buiten de bebouwde kom.

Het meest agressief binnen de bebouwde kom scoren de BMW-3-serie, de Citroen BX en de Mercedes-190-300-serie; buiten de bebouwde kom zijn dat de BMW-3-serie en de Opel Vectra.

Samenvattend kan slechts beperkt van enige consistentie worden gesproken. Suzuki Alto is door zijn extreme scores in alle opzichten consequent: een erg lage mate van inzittendenveiligheid en niet agressief voor derden. Opel Vectra vertoont het omgekeerde, maar alleen buiten de bebouwde kom.

De relatief hoge mate van agressiviteit van de BMW-3-serie gaat, tegen de verwachting in, vergezeld van een relatief ongunstige EV-score, zowel binnen als buiten de bebouwde kom scoort dit voertuigtype boven het gemiddelde.

Er ontbreken veel voertuigen in de zwaardere sector, omdat deze nu eenmaal minder vaak in het autopark voorkomen dan lichtere voertuigen, zodat een afgerond oordeel niet goed te maken is.

*Tabel 8.2* laat in de onderste rij zien dat de gemiddelde EV- en AI-score van alle voertuigen in het botsveiligheidsbestand (exclusief obstakelbotsingen) bij splitsing in binnen en buiten de bebouwde kom op respectievelijk 6 en 14 uitkomt, terwijl het overall-gemiddelde van de scores van alle voertuigen 10 bedraagt (zie *Bijlage*).

Dit gegeven illustreert daarmee dat de scores niet alleen afhankelijk zijn van (massa van een) voertuigtype, maar ook van andere factoren, zoals bebouwing.



## 9. Aspecten van massa-invloed

In het voorgaande hebben we het ledig voertuiggewicht genomen, waar we de invloed van massa op de afloop van botsingen wilden bekijken.

Theoretisch is dat echter niet juist, om twee redenen.

- a. We houden geen rekening met de werkelijke massa van een specifiek voertuigtype op het moment van de botsing, omdat we alleen over het ledig gewicht beschikken volgens het kenteken. De werkelijke massa zal in vrijwel alle gevallen hoger liggen door de aanwezigheid van inzittenden en bagage.
- b. Theoretisch is het *massaverschil* (of de *massaverhouding*) van tegen elkaar botsende voertuigen bepalend voor het verschil in afloop, althans in ieder geval voor verschil in verdeling van de totale botssnelheid. Immers, de theorie zegt dat ieder van de betrokken voertuigen dat deel van de totale (vectoriele) botssnelheid te verdragen krijgt, dat overeenkomt met de massa van de tegenpartij gedeeld door de beide voertuig-massa's samen. Met andere woorden: het maakt veel uit met wat voor tegenpartij de botsing plaats vindt.

De reden waarom toch een effect van massa te zien is als men alleen van de eigen voertuigmassa uitgaat, is dat het effect van de tegenpartij *impliciet* wordt meegenomen. De tegenpartijen van een gegeven voertuigtype bij elkaar vertegenwoordigen namelijk (mits de steekproef daarvan maar voldoende groot is en ook de verdere omstandigheden vergelijkbaar zijn) een doorsnede van het hele rijdende voertuigpark.

Dat voertuigpark heeft een gemiddelde massa van ruwweg rond 1000 kg en dat moet dus ook het gemiddeld gewicht zijn van tegenpartijen. Daardoor zal een lichter voertuig gemiddeld zwaardere tegenkomen, en omgekeerd zal een zwaarder voertuig gemiddeld lichtere voertuigen tegenkomen. De afloop, die theoretisch aan de massaverhouding is gekoppeld, blijkt zo dus ook door alleen naar de eigen massa te kijken.

Overigens hangt de afloop van een botsing bepaald niet alleen van de massa of massaverhouding af, maar spelen de voertuigstructuren (stijfheden) en geometrische eigenschappen ook een belangrijke rol. Hoewel die structuren doorgaans afhankelijk zijn van de massa's, zoals in het hoofdstuk 7 over obstakelbotsingen is beredeneerd, zijn er toch ook wel veel locale verschillen in structuur en geometrie. Dit is afhankelijk van waar de voertuigen elkaar raken, waardoor er altijd afwijkingen van het theoretisch verloop zullen zijn.

Bovendien zijn er inmiddels nieuwe autotypen op de markt gekomen waarbij de hierboven gesignaleerde relatie tussen massa en stijfheid op een ander niveau ligt dan bij oudere generaties voertuigen. Het gaat hierbij om relatief kleine (maar zware) voertuigen met juist relatief stijve (frontale) structuren. Dergelijke voertuigen blijken goed te scoren bij botsingen, ook bij confrontaties met aanzienlijk zwaardere voertuigen; beter dan we van die oude generaties gewend zijn.

Voordat we dergelijke ontwikkelingen ook via statistisch ongevalen-onderzoek kunnen vaststellen, gaan er vele jaren voorbij; dat is een duidelijke beperking van dit instrument: er kan alleen een duidelijke uitspraak worden gedaan over voertuigtypen die in voldoende mate aanwezig zijn, dus doorgaans wat oudere en populaire typen.

## 9.1. Massa en massaverschillen

In bovenstaande redenering over de waargenomen invloed van massa, terwijl dat theoretisch niet helemaal juist is, zijn enkele controleerbare uitspraken gedaan. In deze paragraaf zullen we die controle laten zien. We kunnen het voertuiggewicht van de tegenpartij laten zien, omdat dit bij alle botsingen bekend is. In *Tabel 9.1* doen we dit per beschouwd autotype in de vorm van het gemiddeld voertuiggewicht van de tegenpartijen, en het minimum en maximum voertuiggewicht daarvan.

Om *Tabel 9.1* in omvang te beperken, laten we het gewicht van de tegenpartijen voor dezelfde autotypen zien als in *Tabel 8.1*, namelijk die met de hoogste en de laagste EV-scores.

Autotype	Eigen massa (kg)	Massa tegenpartijen (inclusief bestelauto's; kg)		
		Gemiddelde	Minimum	Maximum
De 6 hoogste EV-scores:				
Suzuki Alto	622	1078	590	3100
Citroen AX	680	1058	610	2020
VW Polo	803	1056	600	3130
Volvo 340/360	980	1066	610	3020
Toyota Starlet	754	1051	605	3040
Suzuki Swift	741	1010	605	2060
De 5 laagste EV-scores:				
Mercedes 190-300	1261	1013	605	3120
Opel Omega	1333	1017	572	2420
VW Passat	1149	997	560	2090
Nissan Primera	1158	979	616	2140
BMW-5	1391	976	602	2140
Gemiddelde van alle auto's in het bestand	1020	1020	395	3460

*Tabel 9.1. Gemiddeld eigen ledig gewicht van autotypen met de hoogste en de laagste EV-scores, en het gemiddelde, het minimum en het maximum ledig gewicht van hun tegenpartijen (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

*Tabel 9.1* laat zien dat het gemiddelde (ledig) gewicht van de tegenpartijen bij de getoonde autotypen niet exact hetzelfde is. Dat is niet vreemd omdat de steekproef ondanks de twee ongevalsjaren toch nog aan de lage kant is en omdat verschillende autotypen nu eenmaal niet precies onder dezelfde omstandigheden tegenpartijen tegenkomen.

De spreiding rond het gemiddelde is daardoor ook enigszins verschillend voor verschillende autotypen, hetgeen ook aan de verschillende minimum en maximum gewichten is te zien.

*Tabel 9.1* laat ook zien dat lichtere autotypen (de eerste 6) ruwweg iets zwaardere tegenpartijen ontmoeten dan autotypen van het zwaardere soort (laatste 5 uit *Tabel 9.1*). Hierdoor vallen de EV-scores, zoals getoond in *Tabel 8.1* van het vorige hoofdstuk, voor de lichte auto's wat ongunstiger en voor de zware auto's wat gunstiger uit dan bij een volstrekt gelijk gemiddelde massa van de tegenpartij.

Ten slotte laat de *Tabel 9.1* zien dat het gemiddelde van het ledig gewicht van alle in het bestand opgenomen autotypen (inclusief bestelauto's) 1020 kg is, waarbij als minimum één zeer licht voertuig staat (een Reliant Robin) en als maximum één zeer zwaar voertuig (een IVECO-bestelauto).

#### 9.1.1. *Massaverhouding*

Omdat we over de massa's van beide bij een ongeval betrokken voertuigen beschikken, kunnen we nagaan wat de invloed van het massaverschil is ten opzichte van alleen de 'eigen' voertuigmassa.

Om praktische en inhoudelijke redenen is de *verhouding* of *ratio* tussen massa's een beter criterium dan het *verschil* tussen massa's. Rekenkundig gezien, wordt hierdoor namelijk het werken met negatieve getallen vermeden en is er het voordeel dat er met factoren gewerkt kan worden. Inhoudelijk gezien sluit de massaverhouding beter aan bij de theorie van de botsmechanica, zoals die in het begin van dit hoofdstuk kort is toegelicht. Als illustratie daarvan moge gelden dat een absoluut verschil van bijvoorbeeld 300 kg tussen zware voertuigen veel minder betekenis voor de botsveiligheid heeft dan eenzelfde verschil tussen lichtere voertuigen. In een verhoudingsgetal komt dat relatieve aspect juist goed tot uiting.

Massaverhouding of -ratio wordt in deze beschouwing, gezien de grootte van het bestand en de massaverdeling, ingedeeld in negen, evenredig gespreide klassen. Deze klasse-indeling is gecentreerd rondom de klasse 0,9-1,1 waarbij beide voertuigen min of meer dezelfde massa hebben.

Er zijn 18.102 voertuigen in het analysebestand, die afkomstig zijn van 9.051 tweezijdige ongevallen (dit zijn alle voertuigen minus de voertuigen die zijn betrokken bij obstakelbotsingen). Men zou derhalve 9.051 ratio's verwachten, één per ongeval. Omdat we met een voertuiggerichte analyse bezig zijn, wordt in de volgende beschouwing echter aan ieder voertuig een eigen ratio toegedacht, door elk voertuig tweemaal te benutten: eenmaal als eerste en eenmaal als tweede voertuig.

Zo is bijvoorbeeld van een ongeval met voertuig A van 1000 kg en voertuig B van 1500 kg de ratio in het eerste geval A/B of  $1000/1500 = 0,67$  en in het twee geval B/A of 1,5 (het omgekeerde dus). In het eerste geval wordt aan de ratio de afloop van bestuurder A gekoppeld en is B de tegenpartij; in het tweede geval wordt de afloop van bestuurder B gekoppeld en is A de tegenpartij.

Op deze wijze is van ieder van de 18.201 voertuigen en hun bestuurders, alsmede van hun tegenpartijen, in één slag een beoordeling te maken van de relatie tussen ratio en afloop.

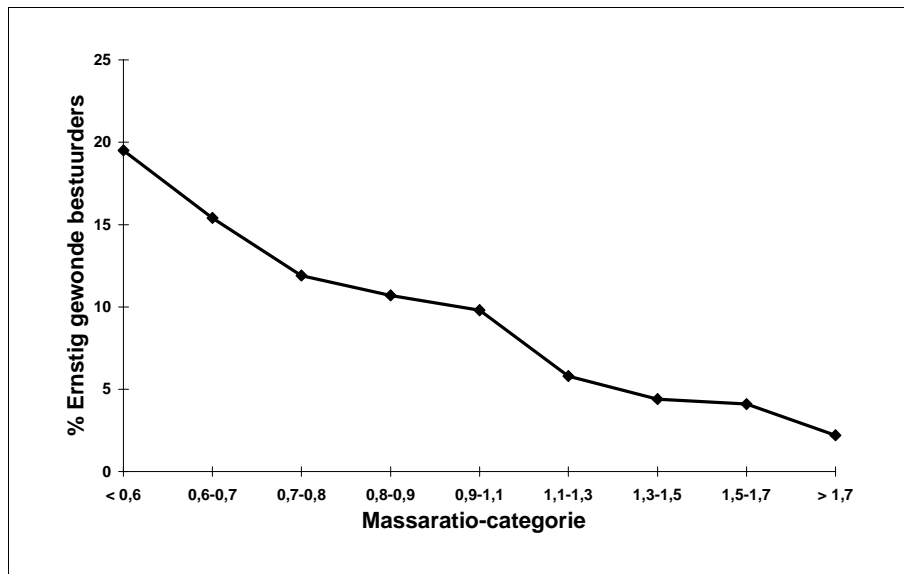
In *Tabel 9.2* laten we de verdeling van de voertuigen over de klassen van massaratio zien. Het totale bereik van de massaratio loopt van ongeveer 0,2 tot 5,0 waarbij de lage ratio's alleen voorkomen bij hele lichte voertuigen en de hoge bij hele zware voertuigen.

Het gemiddelde van de massaratio voor alle auto's in het analysebestand ligt op 1,07 met een standaarddeviatie van 0,41. Dat betekent dat de 5- en 95-percentielwaarden van de ratio liggen op respectievelijk 0,4 en 1,7.

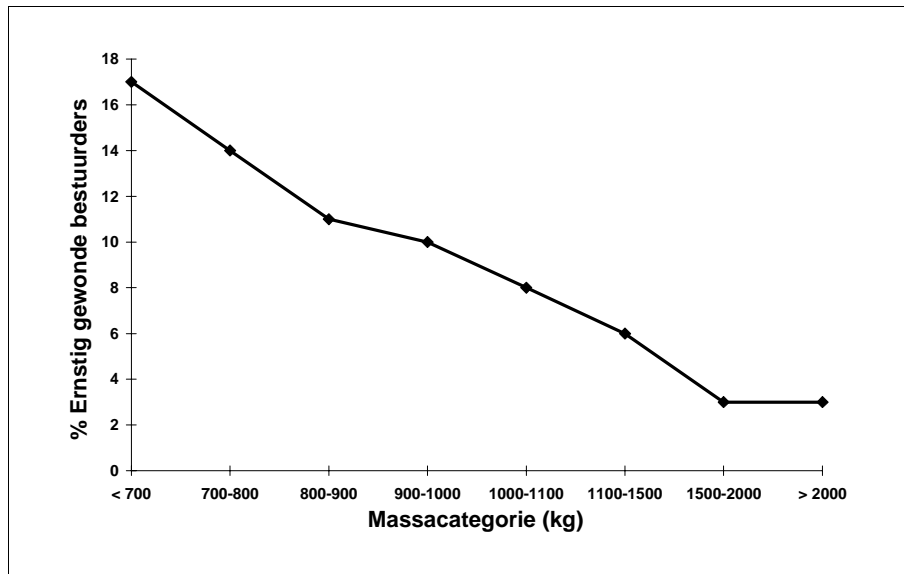
Massaverhouding	Aantal	Percentage
< 0,6	1735	9,6
0,6-0,7	1355	7,5
0,7-0,8	2099	11,6
0,8-0,9	1867	10,3
0,9-1,1	3990	22
1,1-1,3	3483	19,2
1,3-1,5	1598	8,8
1,5-1,7	955	5,3
>1,7	1020	5,6
Totaal	18102	100%

Tabel 9.2. *De verdeling van voertuigen over de verschillende klassen in massaverhouding tussen de eigen massa en die van de tegenpartij (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

In *Afbeelding 9.1* wordt eerst het verband tussen de letselnrst van de bestuurders en de *massaratio* getoond; in *Afbeelding 9.2* de relatie tussen letselnrst en de *massa* van het eigen voertuig. In deze twee afbeeldingen zijn, evenals in *Tabel 9.2*, alle ongevallen tussen twee voertuigen opgenomen.



Afbeelding 9.1. *Aandeel ernstig gewonde bestuurders betrokken bij botsingen met twee voertuigen, afhankelijk van de massaverhouding (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*



Afbeelding 9.2. Aandeel ernstig gewonde bestuurders betrokken bij botsingen met twee voertuigen, afhankelijk van de massa van het eigen voertuig (botsveiligheidsbestand 1996-1997).

De Afbeeldingen 9 en 10 ogen min of meer gelijk: een sterk afnemend aandeel ernstig gewonde bestuurders (van circa 20% tot bijna 0%) bij toenemende massaratio, respectievelijk toenemende eigen voertuigmassa. Dat komt omdat er, zoals in § 9.1 is toegelicht, een verband bestaat tussen massaratio en massa (lage ratio's komen veel vaker voor bij lichte voertuigen en hoge ratio's komen veel vaker voor bij zware voertuigen).

Echter, hoewel de verticale assen van de beide grafieken identiek zijn, vertegenwoordigen de punten op de twee grafieken niet dezelfde groepen voertuigen en bestuurders. In de Afbeelding 9.1 vertegenwoordigt de laagste categorie van de ratio (< 0,6) niet alleen auto's met een lage massa (zoals in Afbeelding 9.2 bij de laagste waarde van de massa), maar ook zwaardere auto's die een nog aanzienlijk zwaardere tegenpartij hebben gehad. Een auto van 600 kg met een tegenpartij van 1050 kg levert bijvoorbeeld dezelfde laagste massaratio als een voertuig van 2000 kg met een tegenpartij van 3500 kg.

Afbeelding 9.1 toont dat bij alle botsingen tussen voertuigen van ongeveer gelijke massa (de ratio is daar 0,9 - 1,1) het aandeel ernstig gewonde bestuurders ongeveer 10 % is. Afbeelding 9.2 toont dat bij deze 10% ernstig gewonde bestuurders een gemiddelde eigen massa hoort van 950 kg (de categorie 900 kg - 1000 kg).

### 9.1.2. Worden massaverschillen steeds groter?

In hoofdstuk 3 spraken we over de mogelijkheid dat de massaverschillen tussen voertuigen toenemen omdat alle nieuwe voertuigen in massa toenemen. Omdat er ook oudere voertuigen blijven bestaan kan het zijn dat het effect per saldo niet neutraal is.

We kijken hiertoe naar de ontwikkeling van massaratio binnen het botsveiligheidsbestand door deze ratio aan het jaar van afgifte van het kentekenbewijs te relateren (*Tabel 9.3*).

Jaar van afgifte kentekenbewijs	Massaverhouding			
	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Stand. deviatie
Tot 1985	0,93	0,22	3,3	0,33
1985-1990	1	0,2	4,8	0,36
1990-1995	1,16	0,24	5	0,44
1995-1997	1,21	0,2	5	0,46
Gemiddeld	1,07	0,2	5	0,41

Tabel 9.3. *Ontwikkeling van de massaverhouding in de tijd, uitgedrukt als het jaar van afgifte van het kentekenbewijs (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Er is een duidelijk verloop van de *gemiddelde* massaratio waarneembaar van ruim 0,9 bij (botsingen van) voertuigen uit de vroegste jaren, tot meer dan 1,2 bij de jongere voertuigen.

Het minimum van de massa ratio verloopt niet of nauwelijks (blijft circa 0,2) maar het maximum is wel opgelopen (van circa 3,3 naar 5,0).

In feite is dit hetzelfde verloop als dat van de (toenemende) gemiddelde eigen massa, zoals dat al in hoofdstuk 3 is getoond (*Afbeelding 3.2*).

Voor voertuigen in de laagste massacategorie betekent dit dat hun kans op een ontmoeting (botsing) met een zwaarder voertuig in de loop der tijd toeneemt. Dit is vooral een probleem voor *oudere* voertuigen in de laagste massacategorie, omdat van nieuwere voertuigen in deze categorie mag worden aangenomen dat zij over betere botseigenschappen beschikken dan oudere. We kunnen dit specifieke probleem niet analyseren omdat we niet over gekoppelde ongevalgegevens beschikken van vroegere jaren.

Het verschijnsel pleit er in eerste instantie voor dat de reeks van twee jaren (1996 en 1997) waarover we thans beschikken, wordt uitgebreid met vroegere jaren. Praktisch gezien is dit echter een probleem, omdat mag worden aangenomen dat van veel voertuigen van eerdere ongevalsjaren de gegevens in het kentekenbestand ontbreken (door sloop of anderszins). Daarom is het alternatief dat de bestaande reeks gekoppelde gegevens blijvend wordt aangevuld met ongeval- en voertuiggegevens van recentere jaren. Zo kunnen na verloop van tijd ook nadere botsveiligheidsanalyses worden uitgevoerd, die gericht zijn op veranderingen in massa en massaverhouding.

## 9.2. Massa en voertuiglengte

Bij de traditionele bouwwijze van auto's hangen veel voertuigeigenschappen met elkaar samen; dit is veelal een kwestie van de hoeveelheid materiaal. Daardoor heeft een kleine auto een kleine massa en ook een kleine lengte, wielbasis, breedte enzovoort. De sterkte-eigenschappen, waaronder constructiestijfheid van de auto als geheel en van specifieke delen in het bijzonder, vertonen ook een directe relatie met massa. Dat hebben we al expliciet aan de orde gehad bij hoofdstuk 7, waar het gaat om de botsveiligheid bij obstakelbotsingen: hoe zwaarder een voertuig, hoe stijver de (frontale) constructie om te kunnen blijven voldoen aan dezelfde botsveiligheidscriteria.

Deze redenering gaat uit van een traditionele bouwwijze, waarbij het gebruikte traditionele materiaal (staalconstructies) een bepaalde energie-opnamecapaciteit heeft. Daarbij moet bij zwaardere voertuigen ook de lengte van de (kreukel)constructie navenant toenemen om de grotere hoeveelheid botsenergie te kunnen absorberen. De lengte van de voorzijde moet toch al toenemen om een doorgaans grotere motor te huisvesten en omdat er nu eenmaal bepaalde verhoudingen van afmetingen worden gehanteerd bij het ontwerp van een voertuig.

Omdat de traditionele bouwwijze langzaam maar zeker verandert door gebruik van nieuwe, vooral lichtere materialen met een hoog energie-absorberend vermogen, verandert ook het verband tussen afmetingen en gewicht enigszins: er komt meer spreiding. Dat wordt nog in de hand gewerkt door het bestaan van bepaalde typen bijzondere voertuigen, zoals terreinvoertuigen en bestelauto's, waarbij een stijvere constructie gewenst is zonder dat lengte drastisch toeneemt.

Samenvattend kan worden gesteld dat er van oudsher een bijna directe relatie is tussen gewicht en lengte van een voertuig. Deze relatie wordt weliswaar steeds minder sterk, maar is nog zo sterk aanwezig dat er bij analyses gericht op de afloop van botsingen nagenoeg geen verschil kan worden gevonden tussen de invloedsgrootten van massa en van lengte.

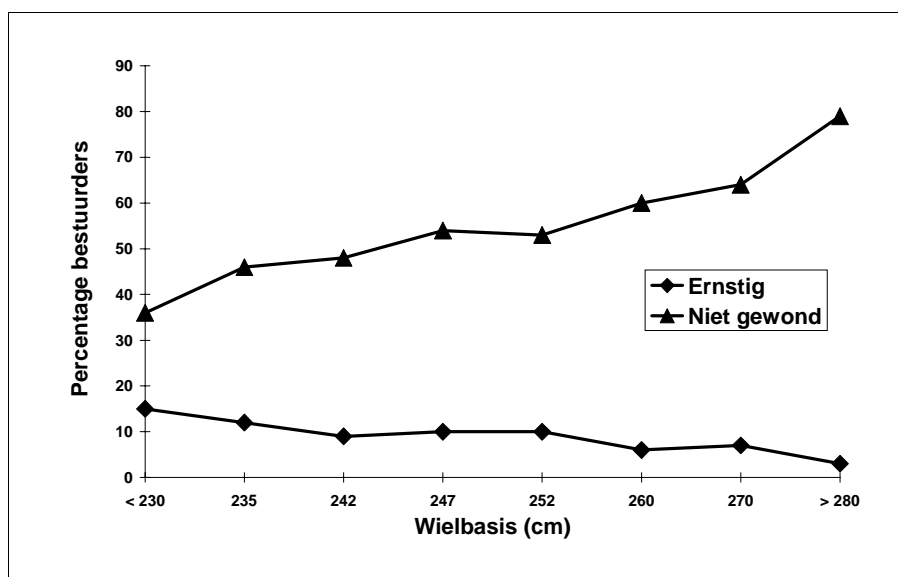
Deze materie heeft onderzoekers wel beziggehouden, zodat er al diverse publicaties zijn verschenen van onderzoek gericht op het verschil in invloed van massa en lengte. Deze literatuur lijkt erop te wijzen dat er binnen de gevonden relatie massa-letselernst nog een zekere extra invloed van lengte valt te onderscheiden.

Of er nu wel of geen verschil wordt gevonden bij dergelijke analyses, het blijft een natuurkundig feit dat massa het primair werkende mechanisme is (of beter massaverschil, zoals we in § 9.1 hebben gezien).

Lengte komt in feite helemaal niet als primaire invloedsfactor voor, omdat behalve massa, de sterkte/stijfheid van de (lokale) constructie de onderlinge verdeling van krachten en vertragingen tijdens het botsverloop bepalen; het gaat om de hoeveelheid kreukelbaar materiaal en de mate van energieabsorptie.

Wanneer we de gedachte bepalen bij frontale botsingen, dan geldt het volgende: de lengte van de betreffende constructie is dan een soort begrenzend factor. Als er geen (kreukel)lengte meer is (bottom-out), dan levert dit direct gevaar op voor het compartiment. Deze moet dan wel heel stijf zijn om de rest van de botsing te kunnen doorstaan.

Om de bespreking van lengte versus massa af te ronden met een analyse, gebruiken we in *Afbeelding 9.3* een beschikbare variabele uit het RDW-bestand: de wielbasis. De wielbasis wordt verondersteld min of meer evenredig toe te nemen met de totale lengte van een voertuig.



*Afbeelding 9.3. Verband tussen de letselernst van bestuurders en de wielbasis van hun voertuig (botsveiligheidsbestand 1996-1997).*

Het verband tussen wielbasis en letselernst van bestuurders (*Afbeelding 9.3*) lijkt goed op dat van de al eerder getoonde verbanden tussen massa-verhouding (*Afbeelding 9.1*), respectievelijk massa (*Afbeelding 9.2*), en de letselernst van de bestuurders.

Voor een betere en gerichtere analyse van de invloed van voertuiglengte op de afloop van botsingen, dienen echter eerst lengtegegevens van voertuigen aan het gekoppelde bestand te worden toegevoegd. Zoals eerder in dit rapport is opgemerkt voor het introductiejaar van bepaalde automodellen (§ 3.2), vraagt dit een handmatige bewerking. Hierbij worden voertuigmaten (zoals lengte) per voertuigtype uit handboeken gehaald en toegevoegd aan het analysebestand.



## 10. Bespreking van de resultaten

### 10.1. Invloed van bebouwing

In deze studie zijn analyses uitgevoerd met onderscheid naar bebouwing (binnen en buiten de bebouwde kom) om hiermee een eventuele invloed te onderscheiden op de ernst van de botsing. Uit de betreffende analyses blijkt dat botsingen buiten de bebouwde kom gemiddeld een factor 2 tot 3 meer ernstig gewonde bestuurders opleveren dan die binnen de bebouwde kom. In die zin is 'bebouwing' een goede vervanger gebleken voor een meer directe aanduiding van ongevalsernst, zoals de botssnelheid.

### 10.2. Massa-afhankelijkheid

Opmerkelijk bij de uitgevoerde analyses is de grote mate van massa-afhankelijkheid van de letselernst van bestuurders. We hebben ook gezien dat het hierbij theoretisch gezien om massaverhouding gaat, maar dat dit praktisch gezien toch ook een invloed van de eigen voertuigmassa betekent.

De verhouding in massa's van het eigen voertuig en die van de tegenpartij, is theoretisch gezien een betere maat om de invloed op de letselernst te bepalen, dan alleen de massa van het eigen voertuig.

In praktijk maakt het niet veel uit omdat er bij botsingen tussen auto's (inclusief bestelauto's) sprake is van een tegenpartij die een gemiddelde massa van het hele autopark vertegenwoordigt. Die gemiddelde massa van de tegenpartij blijkt bij botsingen van kleine auto's wat hoger te liggen en bij botsingen van grote auto's wat lager te liggen dan het parkgemiddelde.

De gestage toename van de gemiddelde massa van nieuwe individuele voertuigtypen, en de daaraan gekoppelde stijging van de gemiddelde voertuigmassa in het Nederlandse voertuigpark, doen vermoeden dat er sprake is van een toename van de onderlinge massaverschillen. Een beoordeling van het verband tussen het jaar van afgifte van het kentekenbewijs en de massaratio bevestigt dat. De gemiddelde massaratio is (net als de gemiddelde voertuigmassa) in de loop der jaren toegenomen, alsmede het maximum daarvan en de spreiding daarin.

Deze toename van massa, massaverschillen en massaratio is vooral een probleem voor (inzittenden van) voertuigen met een massa onder het gemiddelde. Dit probleem is des te groter naarmate voertuigen ouder zijn en niet over moderne botsveiligheidseigenschappen beschikken.

### 10.3. Botsveiligheid van individuele voertuigtypen

De resultaten uit hoofdstuk 8 lieten zien dat de EV-scores van individuele voertuigtypen een soort omgekeerd evenredige relatie vertonen met de voertuigmassa. Bij de AI-scores is deze relatie evenredig. De EV-score neemt (in grote lijnen) af en de AI-score neemt (in grote lijnen) toe met toenemende voertuigmassa. Dat is, wederom in grote lijnen, consistent met de theorie uit de botsmechanica.

Voorzover er sprake is van inconsistentie kan dat worden teruggevoerd op het feit dat we het niet over de werkelijke voertuigmassa hebben op het moment van de botsing, maar over het ledig gewicht als administratief gegeven. Voorts zijn de scores, ook per afzonderlijk voertuigtype, gebaseerd op het gemiddelde ledig gewicht van alle individuele voertuigen in het bestand die tot dat type behoren. Dat gemiddelde is bepaald door de wat lichtere tweedeurs aan de ene kant van het spectrum en de wat zwaardere vijfdeurs uitvoeringen aan de andere kant. Deze verschillende uitvoeringen van hetzelfde voertuigtype zullen in werkelijkheid iets van elkaar verschillende botsveiligheid kunnen hebben.

#### 10.3.1. *Indexen zijn relatief*

De EV- en AI-scores geven overigens geen absolute maat voor botsveiligheid weer. De grootte van de scores is behalve van massa ook afhankelijk van de botsernst, het botstype en het soort tegenpartij (voertuig of obstakel).

Wat botstype en tegenpartij betreft, hebben we dat vastgesteld aan de hand van de forse verschillen tussen de aandelen ernstig gewonde bestuurders bij de verschillende tweezijdige botstypen die achtereenvolgens in de hoofdstukken 4 t/m 6 zijn behandeld en de obstakelbotsingen in hoofdstuk 7.

Wat botsernst betreft, hebben we dat vastgesteld door de controle via bebouwing toe te passen, hetgeen een factor 2 à 3 verschil bepaalt in het aandeel ernstig gewonden.

Dat de indexen geen absolute maat zijn is nog beter te zien als we niet naar botsingen tussen (bestel)auto's kijken, maar bijvoorbeeld naar auto-vrachtautobotsingen. De massaverhouding komt dan zo ver buiten de range van ratio's van (bestel)autobotsingen te liggen (lopend van 0,2 tot 5,0), dat die de botsafloop veel sterker bepaalt. Hierdoor zouden de EV-scores van auto's en vrachtauto's veel verder uit elkaar komen te liggen.

De indexen zijn dus vooral als relatief te zien, het gaat daarom meer om een (rang)volgorde in botsveiligheid dan een absoluut oordeel over individuele voertuigtypen.

Interessant is dat niet alleen de veiligheid van de *inzittenden* in een indexcijfer is uitgedrukt, maar tegelijkertijd ook een vergelijkbaar soort indexcijfer voor de impact van een voertuigtype op tegenpartijen kon worden vastgelegd. We hebben dat *agressiviteit* genoemd, een naam die door autofabrikanten minder aantrekkelijk wordt gevonden. Daartoe is dan ook het woord *compatibiliteit* in omloop gekomen.

Botsveiligheid, die van oudsher vooral op inzittenden was gericht, heeft daarmee nu *twee* dimensies gekregen. Deze dimensies kunnen met behulp van de beide indexen, op basis van ongevalgegevens gekoppeld aan voertuiggegevens, gemeten worden voor specifieke botsomstandigheden en voertuigsoorten.

#### 10.3.2. *Overall-score voor botsveiligheid?*

De vraag is of de EV- en AI-score van een voertuigtype nog tot één overall-score kunnen worden teruggebracht, zoals in tal van andere meer-dimensionele beoordelingen van fenomenen gebruikelijk is.

Men zou de scores kunnen optellen, middelen, vermenigvuldigen, kwadrateren, enzovoort. Het is op dit moment nog niet duidelijk of zo'n bewerking nuttig is.

Zeker is wel dat het streven zou moeten zijn *beide scores zo laag mogelijk* te krijgen. Bovendien zou het streven moeten zijn om *zo min mogelijk verschil* tussen EV- en AI-score te bereiken, vanuit het oogpunt van 'eerlijk gedeelde smart'.

Met andere woorden: zowel de som als het verschil van de beide scores zijn relevant voor een juiste beoordeling van een voertuigtype. Daarmee ligt een eenvoudige rekenmethodiek niet direct voor de hand en is het vooralsnog het beste om beide afzonderlijke scores tegelijk te hanteren. Verdere ontwikkeling van het hier toegepaste 'Botsveiligheids criterium' tot een nog bruikbaar instrument blijft echter nuttig.

### 10.3.3. Resultaten van de scores

In het geselecteerde analysebestand (bij botsingen tussen twee voertuigen) is de EV-score gemiddeld 10 (de AI-score automatisch ook).

We zien voertuigen aan het ene uiterste met een lage EV-score (grote zware voertuigen) en het andere uiterste met een hoge EV-score (kleine lichte voertuigen).

Die EV-scores van de 44 geselecteerde voertuigtypen lopen van ongeveer 2 tot circa 18 bij de betreffende typen botsingen, gecentreerd rondom het gemiddelde van 10. Het gaat hierbij dus om een factor negen verschil tussen de allerlaagste en allerhoogste individuele score. Voor alle duidelijkheid moet worden opgemerkt dat deze grote breedte niet is bepaald door de in het bestand aanwezige 10% bestelauto's, die doorgaans een grotere massa hebben dan personenauto's. Immers, de hoogste en laagste scores blijken te zijn gekoppeld aan typen personenauto's (zie *Tabel 8.1* en de *Bijlage*).

De bijbehorende AV-scores lopen van 1 tot 16, iets minder gecentreerd rondom het gemiddelde van 10 dan de EV-scores.

We zien over het algemeen grote verschillen per voertuigtype tussen EV-score en AI-score. Uit het oogpunt van algehele botsveiligheid zou het verschil tussen inzittendenveiligheid en veiligheid van derden zo klein mogelijk moeten zijn en zouden beide scores ook zo laag mogelijk moeten zijn. Wanneer we op grond van deze uitgangspunten als 'ideaal' criterium hanteren dat het verschil tussen EV- en AI-score maximaal 1 mag zijn, en tevens dat beide scores maximaal 10 zijn, resteren 8 van de 44 voertuigtypen uit de selectie:

- Ford Escort;
- Mazda 323;
- Nissan Sunny;
- Opel Astra;
- Peugeot 405;
- Toyota Corolla;
- VW Golf;
- Volvo 440/460.

Dit zijn typisch voertuigen uit de middenklasse (met een massa rond het gemiddelde). Zware grote voertuigen en lichte kleine voertuigen doen dus niet mee in deze 'ideale' selectie.

Hiermee is overigens niet gezegd dat juist deze acht voertuigtypen (waarvan een aantal niet meer in productie is) als de meest botsveilige moeten worden beschouwd. Ze vormen onder de huidige omstandigheden echter wel het beste compromis tussen een behoorlijke mate van inzittendenveiligheid en een niet te hoge mate van agressiviteit.

Uit bovenstaande beschouwing volgt een nieuwe serie onderzoeksvragen, namelijk: is het voor verdere verbetering van de verkeersveiligheid nodig dat voertuigen zoveel mogelijk dezelfde massa hebben, of zijn er andere methoden om zowel de agressiviteit te verminderen als het niveau van inzittendenveiligheid te verbeteren?

#### 10.4. **Internationaal compatibiliteitsonderzoek**

In internationaal verband worden onderzoeken op het gebied van compatibiliteit uitgevoerd, onder andere in opdracht van de Europese Unie. Het doel van compatibiliteitsonderzoek is tweevoudig:

- het verminderen van de agressiviteit (lagere AI-score) van auto's jegens derden, en
- het verbeteren van de inzittenden-veiligheid (lagere EV-score) van auto's.

Het laatste doel heeft overigens bij het Europese compatibiliteitsonderzoek minder aandacht dan het eerste, omdat het verbeteren van de veiligheid van inzittenden altijd al doel is geweest en ook nog steeds is, als onderdeel van het streven naar een goed product door de fabrikant.

Het verminderen van de agressiviteit is een nieuw doel dat bij voorkeur moet worden gerealiseerd zonder het bestaande niveau van inzittenden-veiligheid te verslechteren.

Vraag is of dit doel bereikt zou kunnen worden zonder dat de voertuigen zoveel mogelijk dezelfde massa krijgen. In aanmerking nemend dat fabrikanten en consumenten de bestaande keuzevrijheid in voertuiggrootte en -massa (met een maximum van 3500 kg totaalgewicht) vooralsnog willen handhaven, is dit een bijzonder zware opgave te noemen. Een fabrikant zal een eenmaal bereikt niveau van inzittendenveiligheid (zoals bij zware voertuigtypen) niet willen opofferen aan verbetering (reductie) van de agressiviteit.

In constructieve termen betekent het namelijk dat die zware grote voertuigen veel minder stijf worden gemaakt (voorzover dat al kan met behoud van dezelfde massa) terwijl die kleine lichte voertuigen relatief stijf moeten worden (hetgeen praktisch wel eenvoudiger is). Het is echter niet het een óf het ander, maar beide tegelijk. De essentie van compatibel gedrag is immers: de structuurdelen die elkaar raken moeten vergelijkbare sterkte / stijfheidseigenschappen hebben teneinde beide tegelijk te kreukelen. Dit in plaats van het kreukelen van alleen de minst stijve / sterke, zoals op dit moment het geval is. Voor kleine lichte voertuigen betekent dat bovendien dat een extra ondoordringbare zone moet worden ingebouwd (bulkhead), die ervoor zorgt dat als de kreukelzone op is - en dat is bij kleinere voertuigen natuurlijk eerder het geval dan bij grote - er geen indringing in het compartiment plaatsvindt, zoals thans vaak het geval is.

Van de zijde van fabrikanten komen gelukkig wel positieve signalen over zo'n fundamentele structuurwijziging (Steyer et al., 1998; Zobel, 1998).

Tegelijkertijd zijn juist fabrikanten uiterst bezorgd over de (reële) kans dat er dan meer botstesten in de wettelijke eisen moeten worden opgenomen dan de huidige, teneinde zowel de eigen veiligheid als de agressiviteit te kunnen bepalen. Bovendien zijn ze er al bezorgd over dat dit eventueel ten koste kan gaan van eigen veiligheid bij zwaardere voertuigen. Er zijn dus redenen genoeg voor fabrikanten en onderzoekers om gezamenlijk op te trekken en te kijken of het mogelijk is één alles-omvattende (frontale) botstest te ontwikkelen, naast de al bestaande flanktest.

Een recent ontwikkelde botstest voldoet al beter, maar blijft de essentie, namelijk 'tweezijdigheid', missen. Die test is ontwikkeld binnen EuroNCAP, het European New Car Assessment Programme, en is afgeleid van de huidige frontale botstest, maar wordt met hogere botssnelheid uitgevoerd.

In theorie is het onmogelijk om met één botsproef van een auto tegen een barrière de tegenpartij te simuleren, die nu eenmaal tal van verschillende massa's kan hebben. Er zijn daarom al gedachten ontwikkeld om voor kleine auto's een andere (hogere) botssnelheid aan te houden dan voor grote auto's. Dat zou inderdaad, bij dezelfde beoordelingscriteria, kunnen leiden tot stijvere constructies bij kleinere voertuigen, maar hoeft nog niet noodzakelijkerwijs te leiden tot minder stijve constructie bij grotere auto's. Dat laatste, zo hebben we hierboven beredeneerd, is ook een essentieel onderdeel van een volledige oplossing voor compatibiliteit.

## 11. Conclusies en aanbevelingen

De auto's uit het Nederlandse autopark worden gemiddeld steeds zwaarder doordat alle nieuwe individuele autotypen een steeds groter ledig gewicht krijgen. Het blijkt bovendien dat hierdoor de massaverschillen tussen voertuigen onderling groter worden. Deze ontwikkeling is op zichzelf slecht voor de botsveiligheid van inzittenden.

Gelukkig is ook vastgesteld dat de gemiddelde ernst van de afloop van botsingen van (bestel)auto's, inclusief botsingen tegen obstakels, gestaag afneemt. We mogen aannemen dat de vele verbeteringen van de voertuigstructuur van nieuwe auto's en de beveiligingsmiddelen (gordelsystemen, airbagsystemen) daaraan hebben bijgedragen.

Tegelijkertijd kan worden vastgesteld dat er grote verschillen bestaan in de ernst van de afloop voor de bestuurders van de botsende auto's. Deze zijn voor een deel afhankelijk van de ongevalsernst (zeg de botssnelheid), het botstype en de botspartner. Voor een ander deel zijn ze afhankelijk van de voertuigmassa, of beter gezegd de verhouding in massa's van de botsende voertuigen.

Bij achteraanrijdingen, flankbotsingen en frontale botsingen, blijkt het percentage ernstig gewonde bestuurders van lichte kleine voertuigen twee tot drie keer zo groot te zijn als dit percentage van grote zware voertuigen. Bij botsingen tegen vaste obstakels is de afloop voor inzittenden van zware voertuigen niet anders dan die voor lichte. Dit is verklaarbaar omdat auto's volgens de traditionele bouw- en testwijze juist voor dit type botsing ontwikkeld zijn. Daardoor is de gemiddelde frontale stijfheid van de constructie massa-afhankelijk (hoe zwaarder hoe stijver), om de veiligheid van de inzittenden te waarborgen.

Dit verschil in stijfheid is echter precies de eigenschap die bij onderlinge voertuigbotsingen tot het probleem leidt, dat inzittenden van lichte auto's slechter af zijn dan die van zware. Het reduceren van deze problematiek, ofwel het verbeteren van de botscompatibiliteit, is daardoor een zware opgave op het gebied van autoconstructie.

Bij de analyses en de beoordeling van de botsveiligheid van individuele voertuigtypen zijn een tweetal criteria voor de botsernst toegepast: de EV-index als maat voor de inzittendenveiligheid en de AI-index als maat voor de agressiviteit, dat wil zeggen de mate van letselernst bij de tegenpartij. In het gebruikte analysebestand (dat zowel personenauto's als een klein aandeel bestelauto's omvat) bedraagt de gemiddelde EV-score 10. Dat wil zeggen dat van alle bestuurders die betrokken waren in tweezijdige botsingen er 10% ernstig gewond zijn geraakt.

De minimum EV-score was ongeveer 2 voor het zwaarste autotype (van alle voertuigen van dat type, betrokken in tweezijdige botsingen, is 2% van de bestuurders ernstig gewond geraakt). De maximum EV-score was ongeveer 18 voor het lichtste autotype in het bestand. Tussen individuele voertuigtypen kan er dus een factor 9 verschil zijn in EV-score.

Het verloop van de AI-score toonde eveneens een afhankelijkheid van de voertuigmassa, al was die iets minder duidelijk dan bij de EV-score. Er werd een hoge mate van botsagressiviteit (hoge AI-scores) gevonden bij de grotere en zwaardere voertuigen en een zeer lage bij de lichtere voertuigen.

Slechts een achttal autotypen in de middenklasse, rond de gemiddelde massa van ongeveer 1000 kg, blijken aan een soort 'ideaalbeeld' van botsveiligheid en weinig-aggressiviteit te voldoen. Daarbij is als criterium gehanteerd dat voertuigen een zo laag (gunstig) mogelijke EV- en AI-score hebben en tegelijkertijd een zo klein mogelijk verschil tussen beide scores. Toch is het niet realistisch om ervoor te zorgen dat alle voertuigtypen ongeveer dezelfde, vrij lage, massa hebben. Verbetering van de botsveiligheid vraagt daarom ingrijpende veranderingen in de constructie van het front van de voertuigen. Dit om de botsagressiviteit te verminderen en de veiligheid voor inzittenden te behouden of verder te verbeteren.

Een aantal recent ontwikkelde nieuwe personenauto's toont aan dat constructieve verbeteringen haalbaar zijn, met name door kleinere voertuigtypen een stijver front te geven. De inzittendenveiligheid bij botsingen met zwaardere voertuigen blijkt daardoor te zijn toegenomen. De vermindering van de botsagressiviteit van zwaardere voertuigtypen zelf is echter nog niet goed op gang gekomen.

Verdere verbetering van botsveiligheid vindt plaats in het kader van compatibiliteitsonderzoek, waarbij overheden, industrie en onderzoeksinstanties samenwerken. Een voorbeeld hiervan is het onderzoek dat momenteel in de Europese Unie plaatsvindt.

Een ander voorbeeld van een dergelijke samenwerking zijn de zogenaamde EuroNCAP-testprogramma's, waarbij nieuwe auto's volgens strengere normen worden getest dan de wettelijke bepalingen voorschrijven. Het blijkt dat autofabrikanten snel en goed reageren op eventuele negatieve uitkomsten van de testen door het voertuigontwerp aan te passen.

### *Aanbevelingen*

Er dient een alternatieve testmethode te worden ontwikkeld als aanvulling op de bestaande (eenzijdige) frontale wettelijke botstest. Deze aanvullende test zou rekening moeten houden met de tweezijdigheid van botsingen en zou de mate van agressiviteit van een auto in kaart moeten brengen. Aanbevolen wordt deze aanvullende test vooralsnog op te nemen in het EuroNCAP-programma.

Voorts wordt aanbevolen om regelmatig botsveiligheidsanalyses uit te voeren, zoals in deze SWOV-studie is gebeurd. Daarvoor is het nodig om jaarlijks voertuiggegevens aan ongevalgegevens te koppelen, en zo het analysebestand van 1996-1997 aan te vullen. Het wordt dan mogelijk de ontwikkelingen in de botsveiligheid te blijven volgen door de EV- en AI-index te hanteren, en zo mogelijk nog bruikbaarere meetcriteria te ontwikkelen.

## Literatuur

Braak, M. & Pennings, J.W. (1998). *Passieve veiligheid van personen-auto's; compatibiliteit, botsveiligheid en ranking naar opgelopen letsel*. Afstudeeropdracht. Hogeschool van Arnhem en Nijmegen, Faculteit Techniek, Arnhem.

Kampen, L.T.B. van (1998). *Botsveiligheid van personenauto's, deel II*. R-98-28. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam, 1998.

Kampen, L.T.B. van (2000). *Compatibility between cars*. Contribution to EU-project RO-97-SC.1064; Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding].

Steyer, C. et al. (1998). *Proposal to improve compatibility in head-on collisions*. In: Proceedings of the Sixteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 1-4 June 1998. Windsor, Canada.

Zobel, R. (1998). *Demands for compatibility of passenger vehicles*. In: Proceedings of the Sixteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 1-4 June 1998. Windsor, Canada.



## Bijlage

## Autotypen en veiligheidsscores

In *Tabel B1* staan de veiligheidsscores (EV- en AI-) van 44 voertuigtypen. De EV-score van een voertuigtype A is het aantal ernstig gewonde bestuurders van dat voertuigtype, gedeeld door het aantal voertuigen van type A in het analysebestand.

De AI-score van een voertuigtype A is het aantal ernstig gewonde bestuurders onder de *tegenpartijen* van dat voertuigtype A, gedeeld door het aantal voertuigen van type A in het analysebestand.

De 44 afzonderlijke autotypen zijn geselecteerd uit het botsveiligheidsbestand 1996-1997. Het eerste selectie criterium daarbij was dat de auto's betrokken waren in tweezijdige botsingen; obstakelbotsingen zijn daarom buiten beschouwing gelaten, waarna er 18.102 records (voertuigen) overbleven. Het tweede criterium was dat de autotypen elk meer dan 100 maal in het resterende analysebestand voorkomen. Het aandeel van de 44 getoonde voertuigtypen is weergegeven in de vierde kolom van de tabel, en betrokken op het totaal van 18.102 voertuigen, betrokken in tweezijdige botsingen.

Automerik	Type	Aantal	Aandeel (%)	EV-score	AI-score
BMW	3-serie	276	1,5	10	14
	5-serie	108	0,6	2	16
CITROEN	BX	273	1,5	12	11
	AX	126	0,7	18	4
FIAT	Panda	186	1	12	3
	Uno	191	1,1	16	7
FORD	Escort	847	4,7	10	9
	Fiesta	291	1,6	10	7
	Mondeo	144	0,8	8	14
	Sierra	348	1,9	9	9
HONDA	Civic	248	1,4	12	10
MAZDA	323	413	2,3	8	7
	626	301	1,7	7	11
MERCEDES BENZ	190-200-300	347	1,9	6	12
MITSUBISHI	Colt	126	0,7	11	10
NISSAN	Micra	167	0,9	10	1
	Primera	104	0,6	2	10
	Sunny	342	1,9	8	7
OPEL	Ascona	160	0,9	11	6
	Astra	388	2,1	9	9
	Corsa	490	2,7	12	7
	Kadett	1133	6,3	12	8
	Omega	145	0,8	6	13
	Vectra	319	1,8	4	14

Automerik	Type	Aantal	Aandeel (%)	EV-score	AI-score
PEUGEOT	106	107	0,6	16	9
	205	486	2,7	12	6
	306	112	0,6	6	10
	309	123	0,7	10	7
	405	188	1	9	8
RENAULT	19	159	0,9	14	12
	5	148	0,8	14	7
	Clio	129	0,7	13	7
SEAT	Ibiza	111	0,6	9	5
SUZUKI	Alto	255	1,4	19	2
	Swift	219	1,2	13	6
TOYOTA	Carina	125	0,7	6	12
	Corolla	291	1,6	7	8
	Starlet	194	1,1	13	7
VOLKSWAGEN	Golf	1131	6,2	9	10
	Jetta	120	0,7	13	8
	Passat	198	1,1	4	10
	Polo	208	1,1	16	5
VOLVO	340/360	156	0,9	15	8
	440/460	182	1	10	10
Andere autotypen		5987	33,1	8	11
Totaal		18102	100	10	10

Tabel B1. *De EV-score en de AI-score van 44 verschillende autotypen, alsmede de frequentie waarin ze voorkomen als betrokken voertuig in tweezijdige ongevallen.*