

# **De invloed van automassa op het letselrisico bij botsingen tussen twee personenauto's**

Dr. ir. E.M. Berends

R-2009-5



# **De invloed van automassa op het letselrisico bij botsingen tussen twee personenauto's**

Een kwantitatieve analyse

## Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2009-5
Titel:	De invloed van automassa op het letselrisico bij botsingen tussen twee personenauto's
Ondertitel:	Een kwantitatieve analyse
Auteur(s):	Dr. ir. E.M. Berends
Projectleider:	Drs. H.L. Stipdonk
Projectnummer SWOV:	04.3.9
Trefwoord(en):	Compatibility, car, weight, collision, severity (accid, injury), accident rate, driver, injury, fatality, safety, Netherlands, SWOV.
Projectinhoud:	De laatste decennia neemt de spreiding in automassa toe, evenals de gemiddelde automassa. Dit heeft consequenties voor de verkeersveiligheid. Uiteenlopende automassa's pakken slecht uit voor het letsel- en overlijdensrisico van individuele bestuurders in lichte auto's, maar ook voor de totale verkeersveiligheid. In dit rapport is getracht om deze invloed van automassa op het letselrisico en het overlijdensrisico kwantitatief te bepalen. Er zijn alleen botsingen tussen twee personenauto's geanalyseerd.
Aantal pagina's:	94 + 8
Prijs:	€ 15,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2009

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

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV  
Postbus 1090  
2260 BB Leidschendam  
Telefoon 070 317 33 33  
Telefax 070 320 12 61  
E-mail [info@swov.nl](mailto:info@swov.nl)  
Internet [www.swov.nl](http://www.swov.nl)

## Samenvatting

Op de Europese wegen neemt de spreiding in automassa toe, evenals de gemiddelde automassa. Dit heeft consequenties voor de verkeersveiligheid. Bestuurders in lichte auto's hebben een hoger letsel- en overlijdensrisico. Dat wil zeggen dat zij een hoger risico lopen om gewond te raken of te overlijden wanneer zij betrokken zijn bij een botsing met een zwaardere voertuig. Uit onderzoeksliteratuur is bekend dat uiteenlopende automassa niet alleen slecht is voor de veiligheid van individuele bestuurders in lichte auto's, maar ook voor de totale verkeersveiligheid. Een grotere massaspreiding leidt tot meer slachtoffers. Het doel van dit onderzoek is om deze invloed van automassa op het letselrisico en het overlijdensrisico bij botsingen tussen twee personenauto's kwantitatief te bepalen. Hierdoor is het mogelijk om de effecten te bepalen van:

- verschillende automassa's op het letsel- en overlijdensrisico's van individuele bestuurders;
- toenemende spreiding in automassa op de totale verkeersveiligheid;
- het gebruik van gemiddeld lichtere auto's door vrouwen, jongeren en ouderen op hun letsel- en overlijdensrisico.

Vrijwel alle analyses in dit rapport zijn uitgevoerd op ongevalgegevens uit BRON. Deze zijn sinds 2001 voorzien van voertuiggegevens zoals de massa van betrokken auto's. In dit onderzoek worden alleen botsingen tussen twee personenauto's geanalyseerd.

### Relatie tussen letselrisico en massaverschil

Het letselrisico is gedefinieerd als het risico dat een bestuurder loopt om gewond te raken, wanneer hij of zij betrokken is bij een ongeval. Het letselrisico kan bepaald worden door het aantal keer (de frequentie) dat een bestuurder letsel heeft ( $f_{\text{letsel}}$ ) te delen door het aantal keer dat er een bestuurder betrokken is bij een ongeval ( $f_{\text{ongeval}}$ ).

Volgens de botsingsfysica is alleen de verhouding tussen beide automassa's van invloed op het letselrisico en de letselernst, en niet de grootte van de massa's zelf. Daarom is dit rapport voornamelijk gericht op de invloed van de *relatieve* verschillen in automassa's: het verschil in automassa van de twee botsende auto's gedeeld door de som van deze massa's.

De invloed van de verschillen in automassa op het letselrisico en de letselernst in botsingen tussen twee personenauto's is kwantitatief bepaald. Dit is gedaan door het letselrisico als functie van het relatief massaverschil te bepalen voor drie maten van letselernst: dodelijke afloop, ziekenhuisopname en lichtgewond. Deze functies blijken exponentieel van vorm te zijn voor de drie maten van letselernst. De risico's op ziekenhuisopname en op licht letsel hangen minder sterk van het relatief massaverschil af dan het overlijdensrisico.

Wat deze resultaten betekenen voor individuele automobilisten illustreren de volgende twee voorbeelden. Een bestuurder van een lichte auto van circa 800 kg die tegen een auto met een gemiddelde massa botst loopt een

tweemaal zo groot risico om te overlijden als een bestuurder van een auto met gemiddelde massa (1.079 kg), die tegen dezelfde auto botst. Hiertegenover staat het risico dat de lichte auto de bestuurder van de tegenpartij doodrijdt; dat is slechts de helft van het gemiddelde risico. Voor een bestuurder van een zeer zware auto van circa 2.100 kg zijn deze risico's respectievelijk een vijfde van en vijfmaal het risico van een bestuurder van een auto met een gemiddelde massa. De verschillen in risico's op ziekenhuisopname of licht letsel zijn een stuk kleiner, omdat deze risico's minder sterk van het relatief massaverschil afhangen.

Overigens wordt hier de invloed van het relatief massaverschil op het letselrisico enigszins overschat. Dit is omdat zwaardere auto's niet alleen gunstiger voor de eigen bestuurder zijn dan lichtere auto's vanwege hun massa, maar ook omdat ze gemiddeld genomen meer veiligheidsvoorzieningen hebben die letsel voorkomen of beperken (bijvoorbeeld gordelspanners of zijairbags). Het blijkt dat deze secundaire veiligheidscomponenten die samenhangen met de automassa minder dan een tiende deel verklaren van het effect van het relatief massaverschil op het overlijdensrisico. Voor het risico op ziekenhuisopname en op licht letsel zijn deze aandelen wat groter, respectievelijk een vijfde en een vierde.

### **Effect op totale verkeersveiligheid**

Wanneer alle personenauto's een gelijke massa zouden hebben, zou er een kwart minder doden onder bestuurders vallen in ongevallen tussen twee personenauto's. In 2006 zouden er dan 10 verkeersdoden minder zijn gevallen onder autobestuurders. Daarnaast zouden er ook minder doden vallen onder autopassagiers.

De gemiddelde massa van het personenautopark neemt toe met 15 kg per jaar sinds 1999. Ook de spreiding in massa neemt ieder jaar toe. De relatieve spreiding in massa (= massaspreiding/gemiddelde massa) is lineair toegenomen met ongeveer 0,15% per jaar tot circa 25% in 2006. Dat wil zeggen, dat een willekeurige auto gemiddeld 25% in massa verschilt van de gemiddelde automassa. Wanneer deze toename zich zou voortzetten, dan is de verwachting dat er in 2010 onder autobestuurders één extra dode valt te betreuren en vijf extra ziekenhuisopnamen. In 2020 zouden dat dan drie extra doden zijn en 21 extra ziekenhuisopnamen. Dit is berekend ten opzichte van de onveiligheid in 2006. Er is geen rekening gehouden met veranderingen in de algehele veiligheid in 2010 en 2020.

### **Effect op veiligheid van specifieke groepen**

Vrouwen, jongeren (18-24 jaar) en ouderen (65+) rijden in lichtere auto's dan gemiddeld (respectievelijk 70, 82 en 53 kg minder dan gemiddeld).

Daarnaast blijkt uit de ongevallenregistratie het volgende:

- Vrouwelijke bestuurders hebben een hoger risico op ziekenhuisopname en licht letsel dan mannelijke bestuurders (52% en 67% hoger), maar hebben, hoewel zij in lichtere auto's rijden, een lager overlijdensrisico (-24%) wanneer zij bij een ongeval tussen twee personenauto's betrokken zijn.
- Oudere bestuurders hebben vaker en ernstiger letsel dan gemiddeld in een ongeval tussen twee personenauto's. Daardoor hebben zij een

verhoogd risico op ziekenhuisopname en overlijden (48% en 196% hoger dan gemiddeld) en een iets verlaagd risico op licht letsel (-14%).

- Jongere bestuurders hebben relatief vaak letsel, doordat zij relatief vaak betrokken zijn bij een ongeval tussen twee personenauto's. Zij hebben echter een gemiddeld risico op ziekenhuisopname en licht letsel en zelfs een lager overlijdensrisico dan gemiddeld (-31%), ondanks het feit dat zij in lichtere auto's rijden.

Het relatief hoge letselrisico voor vrouwelijke bestuurders, het hoge letsel- en overlijdensrisico voor oudere bestuurders en het lage overlijdensrisico voor jongere bestuurders blijken slechts gedeeltelijk verklaard te kunnen worden door hun voorkeur voor lichtere auto's.

Oudere bestuurders hebben een (nog) hoger, en jongere bestuurders een lager risico op overlijden of ziekenhuisopname dan op basis van de verschillen in automassa wordt verwacht. Dit komt doordat de fysieke kwetsbaarheid toeneemt met de leeftijd (leeftijdseffect). Dit leeftijdseffect is in dit rapport gekwantificeerd: het totale risico om slachtoffer te worden, gegeven een aanrijding tussen twee personenauto's, neemt 0,5% per leeftijdsjaar toe door toename van fysieke kwetsbaarheid. Het overlijdensrisico en het risico op ziekenhuisopname nemen fors toe met 3% en 1% per leeftijdsjaar, daardoor neemt het risico op licht letsel zelfs licht af met 0,4% per leeftijdsjaar.

De letselrisico's voor vrouwelijke bestuurders zijn niet goed te verklaren met de verschillen in automassa en leeftijdsopbouw. Ook als met deze factoren rekening wordt gehouden hebben vrouwen een lager overlijdensrisico en hogere risico's op ziekenhuisopname en licht letsel dan verwacht. Er zijn dus vooral andere factoren die dit risicopatroon bepalen. Een mogelijkheid is dat vrouwelijke bestuurders minder vaak de snelheid overtreden waardoor zij gemiddeld een lagere snelheid hebben bij aanrijdingen. Verder kan het zijn dat vrouwelijke bestuurders vaker gordels dragen dan mannelijke bestuurders.

De bevinding dat 25% van de verkeersdoden onder bestuurders bij botsingen tussen twee personenauto's worden veroorzaakt door massaverschillen tussen de beide auto's, bevestigen de noodzaak om de compatibiliteit tussen verschillende typen personenauto's verbeteren. De voertuigstructuur moet zodanig aangepast worden dat de verschillen in automassa er niet toe leiden dat kleine auto's meer vervormen dan grote. Daarvoor is onderzoek nodig.

# Summary

## **The influence of vehicle mass on the injury rate in collisions between two passenger cars; A quantitative analysis**

On European roads, the dispersion of vehicle mass as well as the average vehicle mass are increasing. This has road safety consequences. Drivers in light cars have higher injury and death rates. This means that they have a higher risk of being injured or killed in a crash with a heavier vehicle. The research literature shows that large differences in vehicle mass are not only a threat for the safety of individual drivers, but also for the total number of casualties. A larger dispersion of mass will lead to more casualties. The purpose of this study is to quantitatively determine the influence of vehicle mass on the injury rate and the fatality rate in collisions between two passenger cars. This makes it possible to determine the effects of:

- different vehicle masses on injury and fatality rates of individual drivers;
- the increasing dispersion of vehicle mass on road safety;
- the use of on average lighter cars by women, youths and elderly on their injury and fatality rates.

Almost all analyses in this report have used crash data from the Dutch Road Crash Registration (BRON). Since 2001 it contains vehicle data, including the mass of vehicles involved. This study only analyses collisions between two passenger cars.

### **Relation between injury rate and difference in vehicle mass**

The injury rate is defined as a driver's risk of being injured when he or she is involved in a crash. The injury rate can be calculated by dividing the number of times (the frequency) a driver sustains an injury ( $f_{injury}$ ) by the number of times a driver is involved in a crash ( $f_{crash}$ ).

According to biomechanics, only the ratio between both vehicle masses has an effect on the injury rate and the injury severity, not the magnitude of the masses. Therefore this report mainly focuses on the effect of *relative* differences in vehicle mass: the difference in vehicle mass between the two colliding cars divided by the sum of these two masses.

The effect that the differences in vehicle mass have on the injury rate and the injury severity in collisions between two passenger cars is quantitatively determined. This is done by determining the injury rate as a function of the relative mass difference for three injury severities: fatality, in-patient, and slightly injured. These functions turn out to be exponentially shaped for the three injury severities. The rates for hospital admission and minor injury are less strongly determined by the relative mass difference than the fatality rate.

Two examples will illustrate what these findings mean for the individual driver. A driver of a light car of approximately 800 kg who collides with a car of average mass has double the fatality rate of a driver of an average mass (1.079 kg) car who collides with that same vehicle. Opposed to this situation



is the risk that the light vehicle causes fatal injury to the opposing driver; this is only half the average fatality rate. For a driver of a very heavy car of approximately 2.100 kg these rates are a fifth and five times the rate respectively of those of the driver of a car of average mass. The differences in rates for hospital admission and minor injury are much smaller, because these rates are less dependent of the relative mass difference.

The relative mass difference's effect on the injury rate is somewhat overestimated here. This is because heavier cars are not only more protective for their drivers than lighter cars, but also because they generally have more safety devices that prevent injury or limit its severity (e.g. seatbelt tensioners or side airbags). These secondary safety components that go together with the car mass are responsible for less than one tenth of the relative mass difference's effect on the fatality rate. The rates are somewhat higher for hospital admission and minor injury, one fifth and one fourth respectively.

### **Effect on road safety**

If all passenger cars were to have equal mass, the number of fatalities in crashes between two passenger cars would be diminished by a quarter. In that case, there would have been 10 road crash fatalities less among drivers in 2006. In addition there would also be fewer fatalities among car passengers.

Since 1999, the average mass of the passenger car fleet has been increasing with 15 kg per year. The dispersion of mass also increases annually. The relative dispersion of mass (= mass dispersion/average mass) shows a yearly linear increase of approximately 0.15% to approximately 25% in 2006. This means that the mass of an arbitrary car diverges from the average car mass by an average of 25%. If this increase were to continue, it is to be expected that in 2010 there will be one extra fatality and five extra in-patients among drivers. In 2020 these numbers would have increased to three extra fatalities and 21 extra in-patients. This has been calculated with the road safety figures in 2006 as a reference. Changes in the overall safety in 2010 and 2020 have not been taken into account.

### **Effect on the safety of specific groups**

Women, youths (18-24 year-olds) and the elderly (over-65s) drive lighter cars than average (70, 82 en 53 kg less than average, respectively). In addition, the following can be derived from the road crash registration:

- Female drivers have a higher risk of hospital admission and slight injury than male drivers (52% and 67% higher), but despite the lighter cars they drive they have a lower fatality rate (-24%), when they are involved in a collision between two passenger cars.
- For elderly drivers, severe injury is more frequent and more severe than average in collisions between two passenger cars. Hence they have increased severe injury and fatality rates (48% and 196% higher than average) and a somewhat lower risk of slight injury (-14%).
- Younger drivers are injured relatively often, because they are relatively often involved in two vehicle crashes. However, their injury rate for both severe and slight injury is average, and they even have a lower fatality rate than average (-31%), despite the lighter cars they drive.

The relatively high injury rate for female drivers, the high injury and fatality rates for elderly drivers and the low fatality rate for young drivers can only partly be explained by their preference for lighter cars.

Elderly drivers have an even higher and young drivers an even lower fatality or severe injury rate than is to be expected based on the differences in vehicle mass. This can be explained by physical vulnerability increasing with age (age effect). This age effect has been quantified in this report: the overall risk of being a casualty, given a two car collision, increases by 0.5% per year due to increased physical vulnerability. The fatality and severe injury rates increase strongly by 3% and 1% per age year, which even causes a slight decrease of the slight injury rate of 0.4% per age year.

The injury rates for female drivers cannot satisfactorily be explained by the differences in car mass and age. Even when these factors are taken into account women have a lower fatality rate and higher severe and slight injury rates than expected. Hence, there must be other factors that determine this risk pattern. One possibility is that female drivers commit speeding offences less frequently, which results in average lower speeds in collisions. Furthermore, women may wear seatbelts more often than men do.

The finding that 25% of the road deaths among drivers in crashes between two cars are caused by mass differences between the two vehicles, confirm the necessity of improving the compatibility of different types of passenger cars. The vehicle structure must be adapted in such a way that smaller cars do not deform proportionally in a crash with a large car. Research is required to achieve this.

# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1. Toenemende automassa en verkeersveiligheid	13
1.2. Doel	14
1.3. Aanpak	14
1.4. Restricties	15
1.5. Leeswijzer	16
<b>2. Theorie letselrisico</b>	<b>17</b>
2.1. Definitie van letselrisico	17
2.2. Verband tussen letselrisico en massa	17
2.3. Relatief letselrisico	18
<b>3. Uitvoering van het onderzoek</b>	<b>20</b>
3.1. Gebruikte databronnen	20
3.1.1. Voertuigparkgegevens	20
3.1.2. Ongevallengegevens	20
3.2. Selectie van data	21
3.3. Grootte van de selectie en relevantie van het onderzoek	22
3.4. Analyses	23
3.4.1. Massaverdeling	23
3.4.2. Relatief massaverschil	24
3.4.3. Relatief-massaverschilverdeling	25
3.4.4. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil	26
3.4.5. Absoluut letselrisico als functie van de automassa	27
3.4.6. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil en de leeftijd van de bestuurder	28
3.4.7. Absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder	28
3.4.8. Leeftijdscategorieën	28
<b>4. Massa</b>	<b>29</b>
4.1. De ontwikkeling van automassa van het park	29
4.2. Verdeling van automassa in auto-auto-ongevallen	30
4.2.1. De massaverdeling in auto-auto-ongevallen vergeleken met de massaverdeling van het park	30
4.2.2. De automassaverdeling naar geslacht van de bestuurder	32
4.2.3. De automassaverdeling naar leeftijd van de bestuurder	33
4.2.4. De gemiddelde massa naar leeftijd en geslacht van de bestuurder	34
4.3. Conclusies	35
<b>5. Massaverschillen en het absoluut letselrisico</b>	<b>37</b>
5.1. De relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders	37
5.2. De relatief-massaverschilverdeling bij letselslachtoffers	38
5.3. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil	39
5.4. Voorbeeld van de gevolgen voor het individu	41
5.5. Aantal letselslachtoffers onder bestuurders verklaard door massaverschillen	44
5.6. Prognoses	45

5.7.	Vergelijking met de literatuur	46
5.8.	Conclusies	47
<b>6.</b>	<b>Secundaire-veiligheidsvoorzieningen en automassa</b>	<b>49</b>
6.1.	Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil voor drie massaklassen	50
6.2.	Kwantitatief effect van automassa	52
6.3.	Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil gecorrigeerd voor de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten	54
6.4.	Conclusies	55
<b>7.</b>	<b>Absoluut letselrisico naar geslacht en leeftijdscategorie bestuurder</b>	<b>56</b>
7.1.	Geslacht bestuurder	57
7.2.	Leeftijd bestuurder	58
7.3.	Conclusies	61
<b>8.</b>	<b>Verschillen in automassa als mogelijke verklaring voor de hoge letselrisico's van vrouwelijke en oudere bestuurders</b>	<b>62</b>
8.1.	Relatief massaverschil voor alle ongevallen naar geslacht of leeftijd van de bestuurder	62
8.2.	Verwachte aantallen letsels onder vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders	65
8.3.	Verwachte absolute letselrisico's voor vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders	66
8.4.	Absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil naar geslacht en leeftijd van de bestuurder	70
8.5.	Conclusies	72
<b>9.</b>	<b>Verschillen in automassa en leeftijd als mogelijke verklaringen voor het hoge letselrisico van oudere bestuurders</b>	<b>74</b>
9.1.	Absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder	75
9.2.	Gemiddeld relatief massaverschil naar leeftijd van de bestuurder	77
9.3.	Verwacht absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder	77
9.4.	Kwantitatief leeftijdseffect	78
9.5.	Impact resultaten op het absoluut letselrisico van jongere, oudere en vrouwelijke bestuurders	80
9.6.	Vrouwelijke bestuurders (discussie)	84
9.7.	Conclusies	86
<b>10.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>88</b>
10.1.	Conclusies	88
10.2.	Mogelijkheden voor verder onderzoek	90
10.3.	Aanbevelingen	90
	<b>Literatuur</b>	<b>92</b>
	<b>Bijlagen 1 t/m 5</b>	<b>95</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Gemiddelde vertraging tijdens een botsing</b>	<b>97</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Exponentieel dalend letselrisico</b>	<b>99</b>

<b>Bijlage 3</b>	<b>Prognoses van de aantallen slachtoffers</b>	<b>100</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Omrekenen naar het relatief letselrisico</b>	<b>101</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Verwachte aantallen slachtoffers naar leeftijd en geslacht</b>	<b>102</b>



# 1. Inleiding

Het ontwerp van personenauto's is sterk veranderd in de loop van de jaren. Veiligheid voor de inzittenden is daarbij erg belangrijk geworden (Van Kampen et al., 2005). Auto's worden steeds vaker uitgerust met diverse voorzieningen zoals airbags, ABS (antiblokkeersysteem) en ESC (elektronische stabiliteitscontrole). Extra balken in de portieren beschermen inzittenden bij flankbotsingen. Kreukelzones worden uitgebreid om extra veiligheid te bieden bij frontale aanrijdingen. Mede daardoor worden personenauto's gemiddeld steeds zwaarder (Van Kampen, 2003). Ook de groeiende welvaart en de behoefte aan comfortabelere en beter presterende auto's dragen ertoe bij dat de gemiddelde massa van personenauto's toeneemt.

Niet alleen de automassa neemt toe. Ook de spreiding in automassa neemt toe (Van Kampen, 2003). Er wordt wel eens gezegd dat auto's tegenwoordig steeds meer op elkaar lijken, maar dat geldt niet voor hun massa. Het verschil in massa tussen het kleinste en goedkoopste segment ('boodschappenauto's') en de middenklassers neemt toe. Dat is omdat bestaande automodellen steeds zwaarder worden (bijvoorbeeld de VW Golf: 750 kg in 1976 en 1.142 kg in 2004; de Opel Vectra: 1.048 kg in 1994 en 1.300 kg in 2004; de Renault Espace 1.225 kg in 1986 en 1.665 kg in 2004), terwijl in het lichtste segment van het park weer nieuwe kleine, lichte modellen personenauto's worden geïntroduceerd (Van Kampen et al., 2005) zoals de VW Lupo en de Toyota Aygo. Daarnaast is er de opkomst van de extra grote personenauto's (SUV's en MPV's).

## 1.1. Toenemende automassa en verkeersveiligheid

Massa is van grote invloed op de afloop van een ongeval tussen twee personenauto's (Van Kampen, 2000). De veiligheid voor inzittenden neemt toe met de voertuigmassa, terwijl de veiligheid voor inzittenden van de tegenpartij afneemt met de voertuigmassa. Dus personenauto's met een hoge eigen veiligheid hebben ook een hoge botsagressiviteit. Dit is een probleem voor de individuele autobestuurder die in een lichte auto rijdt. Hij of zij loopt een hoger risico gewond te raken of te overlijden dan een bestuurder van een zwaardere auto, wanneer hij of zij een botsing heeft met een andere auto. In andere woorden, het overlijdensrisico en het letselrisico voor bestuurders in lichte auto's zijn hoger dan voor bestuurders in zware auto's. Dit probleem neemt toe met de jaren, omdat de spreiding in automassa toeneemt.

Uiteenlopende massa is niet alleen slecht voor individuele bestuurders, maar ook voor de verkeersveiligheid als geheel. Grotere massaverschillen leiden tot meer slachtoffers. Uit verschillende studies uit de Verenigde Staten blijkt dat er bij ongevallen waarbij de tegenpartij een SUV is, enkele malen meer (dodelijke) slachtoffers vallen dan bij ongevallen waarbij alleen 'gewone' personenauto's waren betrokken (Hoogvelt et al., 2004). Ook uit recent werk (Fredette et al., 2008) blijkt dat SUV's, pick-ups en minibussen in ongevallen agressiever zijn dan gewone personenauto's voor de bestuurder van de tegenpartij en veiliger voor de eigen bestuurder.

## 1.2. Doel

Het doel van dit onderzoek is het kwantitatief bepalen van de invloed van automassa op het letselrisico en het overlijdensrisico bij botsingen tussen twee personenauto's in Nederland. Hierdoor is het mogelijk om de impact van verschillen in automassa op de verkeersveiligheid te bepalen. Die impact bestaat uit twee effecten:

1. het effect van auto's met verschillende massa op het letsel- en overlijdensrisico's van individuele bestuurders;
2. het effect van een toenemende spreiding in automassa op de totale verkeersveiligheid.

Volgens de fysicawetten is alleen de verhouding tussen beide automassa's van invloed op het letselrisico en de letselernst, en niet de grootte van de massa's zelf (dit wordt uitgebreid besproken in *Hoofdstuk 2*). Daarom is dit rapport voornamelijk gericht op de invloed van de *relatieve* verschillen in automassa.

Er zijn verschillende groepen in de samenleving, die een hoger letselrisico hebben dan gemiddeld en die vaker dan gemiddeld in kleine lichte auto's rijden. Vrouwen hebben bij een ongeval vaker letsel dan mannen (De Brabander, 2005; Evans, 1991; Kockelman & Kweon, 2002; O'Donnell & Connor, 1996; Ulfarsson & Mannering, 2004). Ouderen overlijden vaker en hebben vaker ernstig letsel bij een ongeval dan de overige volwassenen (De Brabander, 2005; Evans, 1991; Mackay, 1988). Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

- Ze rijden in lichtere auto's.
- Er is een verschil in rijstijl (rijervaring), rittijden (overdag versus 's nachts) en rijomgeving (binnen versus buiten de bebouwde kom).
- Ouderen zijn fysiek kwetsbaar.

In deze studie is onderzocht of het hoge letselrisico van ouderen en vrouwen verklaard kan worden met behulp van gegevens over de automassa en de leeftijd van de bestuurder. De leeftijd hangt niet alleen samen met fysieke kwetsbaarheid en rijvaardigheid, maar ook met de gemiddelde voertuig-massa. Een verhoogd risico voor deze groepen kan daardoor deels worden toegeschreven aan de automassa. Naast deze twee groepen is nog een derde groep bestuurders onderzocht, die ook in lichte auto's rijdt en vaak bij (letsel)ongevallen betrokken is. Dit zijn jongere bestuurders. Zij veroorzaken door onervarenheid en riskant gedrag veel ongevallen (SWOV, 2008). Ondanks de gemiddeld lage automassa hebben zij geen hoger letsel- of overlijdensrisico (Evans, 1991; Koornstra, 1999; Mackay, 1988). Hier is onderzocht of er naast de invloed van massa op het letselrisico nog een andere factor van belang is, namelijk de lage fysieke kwetsbaarheid van jongeren.

## 1.3. Aanpak

In verschillende buitenlandse onderzoeken is de relatie tussen het *relatief* letsel- of overlijdensrisico en de massaverhouding gekwantificeerd (Evans, 1994; Evans & Frick, 1993; Wood, 1997). Om het relatief letselrisico te bepalen worden alleen letselongevallen beschouwd: er wordt van uitgegaan dat er een ongeval tussen twee personenauto's heeft plaatsgevonden en dat er letsel is. Het relatief letselrisico is dan de verhouding tussen het aantal



letsels in de lichtste auto en het aantal letsels in de zwaarste auto. Naarmate de massa van beide auto's meer van elkaar verschilt, blijkt dat de letsels vaker in de lichtste auto optreden, en minder vaak in de zwaarste auto. Het nadeel van het gebruik van het relatief letselrisico is dat het niet mogelijk is om te bepalen hoeveel het aantal letselongevallen toeneemt door een grotere spreiding in de massa. Het voordeel is dat de analyse slechts gegevens over dodelijke ongevallen of letselongevallen vergt.

In dit onderzoek zijn naast gegevens over letselongevallen in Nederland ook gegevens over ongevallen met Uitsluitend Materiële Schade (UMS) gebruikt. Hierdoor is het mogelijk om het aantal ongevallen tussen twee auto's met een bepaalde massaverhouding mét en zonder letsel te vergelijken. Zo kan worden bepaald hoe vaak letsel optreedt per ongeval met een bepaalde massaverhouding. Het *absoluut* letselrisico is de verhouding tussen het aantal letselongevallen en het totale aantal ongevallen, inclusief de UMS-ongevallen. Het absoluut letselrisico is niet afhankelijk van het letselrisico in de andere auto, maar natuurlijk wel van de massa van de andere auto. Door gebruik te maken van het absoluut letselrisico, kan bepaald worden welke invloed bepaalde veranderingen (in massa) in het wagenpark hebben op de verkeersveiligheid. Met het absoluut risico kunnen dus meer voorspellingen worden gedaan. In dit onderzoek is daarom het absoluut letselrisico bepaald, met gebruikmaking van UMS-gegevens. Aan het gebruik van UMS-ongevallen zitten nogal wat haken en ogen door de onbekende en fluctuerende registratiegraad, maar problemen hiermee zijn in deze studie vermeden door de manier waarop de gegevens zijn geanalyseerd.

#### 1.4. Restricties

Een deel van de massastijging over de jaren kan verklaard worden doordat fabrikanten meer en nieuwe secundaire-veiligheidscomponenten zijn gaan toepassen (Van Kampen, 2003). Deze zijn erop gericht letsel te voorkomen of te beperken, wanneer een auto betrokken is bij een ongeval. Hierbij kan gedacht worden aan airbags, zijairbags, gordelspanners, gordelverklidders (zodat inzittenden vaker een gordel dragen) en een stijvere structuur van de auto. Deze componenten, die de botsveiligheid ofwel secundaire veiligheid verhogen, zijn meer aanwezig in de nieuwere en gemiddeld zwaardere auto's. Een hoge massa en de aanwezigheid van secundaire-veiligheidsvoorzieningen gaan vaak samen, omdat deze meestal auto's in het duurdere segment betreffen.

Van de personenauto's in de ongevallendatabase is niet bekend welke secundaire-veiligheidscomponenten aanwezig zijn. Het is daarom niet mogelijk om in dit onderzoek het effect van massa en het effect van secundaire-veiligheidscomponenten te onderscheiden. Bij een willekeurige voertuigmassa hoort een gemiddeld aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten. Dit gemiddelde veiligheidsniveau veronderstellen we hoger, naarmate de voertuigmassa groter is. In hoeverre dit veiligheidsniveau hoger is, is niet bekend. In dit onderzoek is dus gekeken naar de invloed van automassa inclusief het bijbehorende (onbekende) niveau van secundaire-veiligheidscomponenten. Daarbij is tevens een schatting gemaakt van het effect van het hogere veiligheidsniveau bij zwaardere auto's.

## 1.5. Leeswijzer

Dit rapport vervolgt met de theorie over letselrisico (*Hoofdstuk 2*), waarin het absoluut letselrisico wordt gedefinieerd. Het verband tussen de massa van beide auto's en het letselrisico wordt afgeleid. Ook wordt het relatief letselrisico toegelicht. Daarna volgt *Hoofdstuk 3* over de gebruikte databronnen en de wijze waarop de data geanalyseerd zijn.

*Hoofdstuk 4* bevat beschrijvende statistiek over automassa's. Hierin worden de toename van de gemiddelde automassa en de toename van de spreiding in automassa gekwantificeerd.

Om de invloed van het verschil in automassa (en in bijbehorend niveau van secundaire-veiligheidscomponenten) op het letselrisico en de letselernst kwantitatief te bepalen is het absoluut letselrisico bepaald als functie van het relatief massaverschil voor drie maten van letselernst: dodelijke afloop, ziekenhuisopname en licht letsel (*Hoofdstuk 5*). In dit hoofdstuk worden de gevolgen voor individuele verkeersdeelnemers onderzocht wanneer zij in zeer lichte of zware personenauto's rijden. Om te onderzoeken of de spreiding in massa en de toename daarvan ook over het geheel genomen meer letselongevallen oplevert, is het aantal slachtoffers bepaald dat veroorzaakt wordt door de verschillen in massa van personenauto's. Bovendien is voorspeld hoeveel slachtoffers er in 2010 en 2020 extra zullen vallen in botsingen tussen twee personenauto's, wanneer de spreiding in automassa en bijbehorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten op dezelfde wijze blijft toenemen.

De invloed van het verschil in automassa op het absoluut letselrisico is in *Hoofdstuk 5* mogelijk overschat, doordat secundaire-veiligheidscomponenten in grotere mate aanwezig zijn in zwaardere auto's dan in lichtere auto's. In *Hoofdstuk 6* wordt bepaald welk deel van de invloed van het verschil in automassa op het absoluut letselrisico verklaard kan worden door het verschil in aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten.

*Hoofdstuk 7* geeft weer in hoeverre vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders een hoger overlijdens- en letselrisico hebben dan gemiddeld. Vervolgens is onderzocht of het hoge letselrisico voor vrouwelijke en oudere bestuurders verklaard kan worden door de verschillen in automassa en bijbehorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten, (*Hoofdstuk 8*).

Het effect van leeftijd op het overlijdens- en letselrisico, waardoor oudere bestuurders ernstiger letsel oplopen en eerder overlijden bij een ongeval en jongere bestuurders minder vaak ernstig gewond raken of overlijden, wordt bepaald in *Hoofdstuk 9*. Hierbij wordt rekening gehouden met de verschillen in overlijdens- en letselrisico door verschillen in automassa en bijbehorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten. Tevens wordt onderzocht of het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd en het verschil in automassa en bijbehorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten de aantallen slachtoffers onder vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders kan verklaren.

Ten slotte volgen de conclusies in *Hoofdstuk 10*.

## 2. Theorie letselrisico

Dit hoofdstuk geeft theoretische achtergrondinformatie over het letselrisico in ongevallen tussen twee personenauto's. De definitie van letselrisico wordt gegeven (*Paragraaf 2.1*). In *Paragraaf 2.2* wordt aangetoond dat er een theoretisch verband is tussen de massa van beide auto's en het letselrisico in elk van de auto's. Ten slotte gaat *Paragraaf 2.3* in op het in de literatuur veel gebruikt relatief letselrisico.

### 2.1. Definitie van letselrisico

Het verkeersveiligheidsprobleem (het aantal gewonden,  $I$ ) wordt gegeven als een functie van expositie ( $E$ ), ongevalsrisico ( $A/E$ ) en letselrisico ( $I/A$ ) (Rumar, 2000):

$$I = E \times \frac{A}{E} \times \frac{I}{A},$$

waarbij  $A$  het aantal ongevallen is.

Het letselrisico ( $I/A$ ) is het risico dat iemand loopt om gewond te raken, wanneer hij of zij betrokken is bij een ongeval. Dit rapport focust op het letselrisico. Het ongevalsrisico wordt buiten beschouwing gelaten.

Het letselrisico wordt ook wel het absoluut letselrisico genoemd om onderscheid te maken met het relatief letselrisico (*Paragraaf 2.3*). Het absoluut letselrisico ( $L = I/A$ ) kan bepaald worden door het aantal keer dat het letsel voorkomt (de frequentie,  $f_{letsel}$ ) te delen door het aantal keer dat er iemand betrokken is bij een ongeval ( $f_{ongeval}$ ):

$$L = \frac{f_{letsel}}{f_{ongeval}} \quad (2.1)$$

In dit rapport wordt alleen het letselrisico van bestuurders onderzocht. Het absoluut letselrisico is in dit rapport het aantal keer dat het voorkomt dat een bestuurder letsel heeft, gedeeld door het aantal keer dat een bestuurder betrokken is bij een ongeval.

Het absoluut letselrisico kan bepaald worden voor verschillende maten van letselernst: lichtgewond, ziekenhuisopname en dood.

### 2.2. Verband tussen letselrisico en massa

Het doel van dit onderzoek is om de invloed van automassa op het letselrisico bij aanrijdingen tussen twee personenauto's te kwantificeren. Deze paragraaf laat zien wat het theoretische verband is tussen de automassa en het letselrisico. Daartoe wordt de fysica van een botsing besproken.

Letsel wordt veroorzaakt door krachten die op het lichaam worden uitgeoefend tijdens een botsing. Deze krachten zijn evenredig met de vertraging (= negatieve versnelling) van het lichaam. Deze vertraging is niet

gedurende de hele botsing gelijk, maar neemt eerst toe en vervolgens weer af. Het letselrisico is gerelateerd aan de gemiddelde vertraging (een middeling over de tijd) gedurende de botsing (Gadd, 1966). Voor auto-inzittenden die gordels dragen is de gemiddelde vertraging van het lichaam gerelateerd aan de gemiddelde vertraging van de auto gedurende de botsing. In *Bijlage 1* wordt de vergelijking afgeleid voor de gemiddelde vertraging van de auto tijdens de botsing. Het blijkt dat deze afhangt van de massa van de tegenpartij en de som van beide massa's. De gemiddelde vertraging – en dus het letselrisico – is niet gelijk voor beide auto's als hun massa verschilt.

Verder hangt de gemiddelde vertraging tijdens de botsing ook nog af van de duur van de botsing en het verschil in snelheden. In de ongevalgegevens die in Nederland worden geregistreerd, zijn de waarden van deze kenmerken onbekend. In dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat het verschil in snelheden onafhankelijk is van de verschillen in massa. Daardoor middelen effecten van verschillen in snelheden uit over alle botsingen met een bepaald massaverschil, en kan het letselrisico als functie van de massa bepaald worden.

### 2.3. Relatief letselrisico

In veel landen zijn er geen gegevens over UMS-ongevallen beschikbaar, waardoor geen absoluut letselrisico berekend kan worden. Er zijn dan alleen gegevens over letselongevallen beschikbaar. In de literatuur (Evans, 1994; Evans & Frick, 1993; Evans & Gerrish, 2001; Wood, 1997) wordt daarom gekeken naar de massa-afhankelijkheid van het relatief letselrisico. Evans noemt dit het 'relative injury risk',  $R$ . Het relatief letselrisico  $R$  is de verhouding tussen het letselrisico in de ene auto (meestal de lichtste) en het letselrisico in de andere auto.  $R$  kan bepaald worden uit het aantal ongevallen waarbij één bestuurder of beide bestuurders gewond zijn geraakt, door het aantal keer dat de bestuurder in de ene (lichtste) auto letsel heeft (de frequentie,  $f_1$ ) te delen door het aantal keer dat de bestuurder in de andere (zwaarste) auto letsel heeft ( $f_2$ ):

$$R = \frac{f_1}{f_2} \quad (2.2)$$

Uit ongevalanalyse (Evans & Frick, 1993) blijkt dat er een log-lineair verband is tussen  $R$  en de massaratio ( $m_1/m_2$ , waarbij  $m_1$  de massa van de lichtste auto is, en  $m_2$  de massa van de zwaarste auto):

$$R = \left( \frac{m_2}{m_1} \right)^u \quad (2.3)$$

Dat het relatief letselrisico gerelateerd is aan de massaratio is als volgt af te leiden. Het relatief letselrisico is de verhouding tussen het letselrisico in de ene auto (meestal de lichtste) en het letselrisico in de andere auto. Het letselrisico is gerelateerd aan de gemiddelde versnellingen van de auto. Deze zijn berekend in *Bijlage 1* (zie *Vergelijkingen B1.9 en B1.10*). Daaruit blijkt dat de verhouding tussen de twee gemiddelde versnellingen gelijk is

aan de massaratio. Evans & Frick hebben het relatief overlidensrisico bepaald en vinden voor  $u$  een waarde van 3,53 wanneer ze alle ongevallen tussen twee personenauto's analyseren. Daarmee hebben zij gekwantificeerd dat hoe lichter een voertuig is, des te kleiner het risico voor andere weggebruikers is en hoe des te groter het risico voor de inzittenden is.

Wood (1997) heeft laten zien dat het verband theoretisch inderdaad log-lineair is, wanneer een aantal aannames wordt gedaan. De macht  $u$  in *Vergelijking 2.3* hangt af van het krachtenpatroon en van de keuze om met de dynamische vervorming of de uiteindelijke vervorming van de auto's te rekenen. De theoretisch gevonden waarden voor  $u$  voor het relatief letselrisico liggen tussen de 1,75 en 3,3. De aannames betreffen onder andere het verband tussen lengte en massa, tussen energieabsorptie en massa, en tussen letselernst en gemiddelde versnelling. Door de grote hoeveelheid aannames van Wood moet er niet te veel waarde worden gehecht aan de gevonden waarden voor de macht  $u$ , maar het toont wel aan dat een log-lineair verband ook theoretisch mogelijk is. Naast de theoretische afleiding van  $u$ , bepaalt Wood de waarde van  $u$  door regressieanalyse op bestaande data, gepubliceerd door diverse onderzoekers. Zijn gefitte waarden voor  $u$  voor het relatief risico op ernstig letsel liggen tussen de 1,51 en 1,99 en voor het relatief overlidensrisico tussen de 2,70 en 3,74.

## 3. Uitvoering van het onderzoek

### 3.1. Gebruikte databronnen

#### 3.1.1. Voertuigparkgegevens

De aantallen personenauto's zijn beschikbaar voor ieder jaar in de Statistiek van de Motorvoertuigen (CBS, 1985 e.v.), Deze databron bevat gegevens van het autopark op 1 augustus voor de jaren 1986 t/m 1997 en van het park op 1 januari voor de jaren vanaf 1998. Tot en met 1996 werd het zogeheten administratief park bepaald. Het administratief park verschilde van het aantal voertuigen dat werkelijk in gebruik was (actief park), doordat export en sloop niet altijd werden doorgegeven. Sinds 1997 wordt het actief park bepaald. Dat is mogelijk geworden, doordat de afgifte van een kentekenbewijs en afmelding van voertuigen gekoppeld is aan de wegenbelasting.

De parkgegevens zijn uitgesplitst naar verschillende kenmerken van de auto's, zoals massa en bouwjaar. Voor dit onderzoek zijn kenmerken van de bestuurder zoals geslacht en leeftijd interessant. Kenmerken van de eigenaar zijn wel beschikbaar, maar de bestuurder hoeft niet de eigenaar te zijn.

#### 3.1.2. Ongevallengegevens

De door de politie geregistreerde ongevallen zijn opgeslagen in BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland). Dit ongevallenbestand wordt gemaakt door DVS (de Dienst Verkeer en Scheepvaart van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, voorheen AVV) op basis van de door de politie aangeleverde registratieformulieren.

##### 3.1.2.1. Koppeling met voertuiggegevens

De ongevallengegevens (BRON) worden door DVS sinds 2001 voorzien van voertuiggegevens. Via de voertuigkentekens koppelt DVS de ongevallengegevens met de voertuiggegevens van de RDW (RDW Centrum voor Voertuigtechniek en Informatie, voorheen Rijksdienst voor het Wegverkeer). Hierdoor is van alle voertuigen de massa beschikbaar. Het is daarom mogelijk om na te gaan hoe de (verschillen in de) massa van voertuigen van invloed is op (verschillen in) letsel. De analyses van de ongevallengegevens in dit rapport beperken zich tot de periode 2001-2006, omdat sinds 2001 gegevens over de automassa beschikbaar zijn. Het RDW beschikt niet over voertuiggegevens van buitenlandse voertuigen, die in Nederland betrokken zijn bij een ongeval, daarom worden deze voertuigen buiten beschouwing gelaten.

##### 3.1.2.2. Registratiegraad

De ongevallengegevens (BRON) zijn niet compleet; er is sprake van onderregistratie. DVS bepaalt de werkelijke aantallen verkeersdoden (samen met het CBS) en ziekenhuisopnamen (samen met de SWOV) door de geregistreerde aantallen slachtoffers te vergelijken met andere bronnen

voor de aantallen slachtoffers zoals de Doodsoorzakenstatistiek (CBS) en de Landelijke Medische Registratie (LMR).

Van verkeersdoden onder auto-inzittenden is er nauwelijks onderregistratie (een registratiegraad van 95% in 2006), terwijl voor ziekenhuisgewonden onder auto-inzittenden de registratiegraad circa 80% is. Voor lichtgewonde slachtoffers uit een personenauto is de registratiegraad nog veel lager (circa 25%).

De onderregistratie is voor UMS-ongevallen groter dan voor letsel-ongevallen; bovendien varieert deze met de jaren. De registratiegraad is zeer onzeker en het vermoeden bestaat dat deze in de tijd ook sterk is afgenomen. Dit kan afgeleid worden uit het feit dat het aantal geregistreerde UMS-ongevallen de laatste jaren afneemt, terwijl het aantal autopolissen al jaren met de omvang van het wagenpark toeneemt, en het aantal claims dat bij verzekeraars wordt ingediend al jaren 8 per 100 WA-verzekeringen is (Verbond van Verzekeraars, 2006). Vanwege deze onderregistratie en onbekende registratiegraad van UMS-ongevallen zijn de absolute aantallen bestuurders, betrokken bij een ongeval tussen twee personenauto's, niet bruikbaar. Wanneer de geregistreerde UMS-ongevallen worden opgevat als een aselechte steekproef van alle UMS-ongevallen tussen twee personenauto's, dan zijn ze representatief en kunnen ze worden gebruikt voor analyses. Bekend is dat complexe UMS-ongevallen vaker geregistreerd worden, terwijl eenzijdige ongevallen vaak niet geregistreerd worden. De complexiteit van de ongevallen in het onderhavige onderzoek varieert echter niet, want het betreft alleen ongevallen tussen twee personenauto's. Verder is bekend dat leaserijders vaker een schadeformulier invullen, maar dat wil niet zeggen dat zij vaker de politie inschakelen. De steekproef is aselekt onder de aanname dat de politie zich bij de keuze om wel of niet te registreren, NIET laat leiden door automassa, leeftijd of geslacht van de bestuurder en dergelijke. Bovendien moeten er geen groepen betrokkenen (bijvoorbeeld mannen, een bepaalde leeftijdsgroep, of bestuurders van zware auto's) zijn die vaker de politie inschakelen dan anderen. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat deze zaken het geval zouden zijn. Dus er wordt aangenomen dat de geregistreerde UMS-ongevallen tussen twee personenauto's een aselechte steekproef vormen van alle UMS-ongevallen tussen twee personenauto's.

### 3.2. Selectie van data

Voor het onderzoek is een bepaalde selectie uit het ongevallenbestand (BRON) nodig. Hieronder wordt die selectie beschreven en toegelicht.

Ten eerste zijn de auto-auto-ongevallen geselecteerd. Dit zijn ongevallen waarbij twee personenauto's de primaire botsers zijn (de eerste twee partijen in een ongeval). De massa's van beide auto's zijn geanalyseerd.

Ten tweede moeten ongevallen waarbij de schade en/of het letsel mogelijk is veroorzaakt door een derde partij worden uitgesloten. Ongevallen waarbij naast de twee primaire botsers een ander motorvoertuig betrokken is, zijn daarom uitgesloten. Onder motorvoertuigen worden verstaan snorfietsen, bromfietsen, brommobielen, motoren, personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's, bussen, landbouwvoertuigen, treinen, trams en onbekende voertuigen. Alleen fietsers en voetgangers mogen wel als derde partij bij een

ongeval betrokken zijn, omdat ze een geringe massa hebben vergeleken met een personenauto. Dit komt overigens maar weinig voor, namelijk in 0,2% van de auto-auto-ongevallen is een fietser of voetganger betrokken als derde partij. Objecten (bijvoorbeeld lichtmasten en bomen) zijn ook niet uitgesloten als derde partij, want objecten worden lang niet altijd geregistreerd en zijn dus niet uit te sluiten. In slechts in 4,8% van de auto-auto-ongevallen is er sprake van een geregistreerd vast object als derde partij, terwijl het hoogstwaarschijnlijk veel vaker voorkomt.

Dit onderzoek beperkt zich tot slachtoffers onder bestuurders. Het aantal passagiers zonder letsel wordt namelijk niet geregistreerd in BRON. Voor zowel letselongevallen als UMS-ongevallen is het aantal passagiers onbekend. We verwachten dat bepaalde leeftijdsgroepen en typen auto's vaker passagiers meenemen dan anderen. Bijvoorbeeld moeders (30-40 jaar) met kinderen. Wanneer er meerdere mensen in een auto zitten is het letselrisico bij een ongeval groter. Groepen bestuurders die vaker passagiers meenemen zouden dan vaker letsel hebben. Er is dus een effect van verschillende aantallen passagiers op het risico op een dodelijk of letselongeval. Dit effect is echter niet kwantificeerbaar, omdat gegevens over aantallen passagiers ontbreken. Om deze reden zijn alleen de letsels van de bestuurders geanalyseerd en niet die onder passagiers; de aantallen bestuurders (één per auto) zijn immers wel bekend.

De analyses in dit rapport beperken zich tot de periode 2001-2006. De ongevalgegevens (BRON) voor deze periode zijn door DVS via de voertuigkentekens gekoppeld met de voertuiggegevens van de RDW. Hierdoor is het voor deze periode mogelijk om na te gaan hoe de (verschillen in de) massa van voertuigen van invloed is op (verschillen in) letsel.

Achteraf gezien was het overigens correcter geweest om alle objecten, voertuigen en voetgangers als derde partij uit te sluiten en alleen ongevallen met twee partijen, namelijk twee personenauto's te analyseren. Bovendien zouden alle auto's ouder dan een bepaalde leeftijd, bijvoorbeeld zeven jaar, uitgesloten moeten worden, omdat er tussen oudere en modernere auto's grote verschillen zijn in de structuur en de aanwezigheid van bepaalde secundaire-veiligheidscomponenten zoals airbags.

### 3.3. Grootte van de selectie en relevantie van het onderzoek

In de vorige paragraaf is omschreven welke selectie van data is toegepast. *Tabel 3.1* geeft een overzicht van deze selectie: de aantallen geanalyseerde ongevallen en slachtoffers uit de periode 2001-2006. Bij ieder geanalyseerd ongeval zijn twee bestuurders betrokken. Dus van 510.946 bestuurders zijn de automassa's geanalyseerd.

Om de relevantie van dit onderzoek aan te tonen, staan in *Tabel 3.1* naast de geanalyseerde aantallen ook de werkelijke aantallen slachtoffers in 2006, waarop de resultaten van toepassing zijn. Om uit de geregistreerde aantallen de werkelijke aantallen slachtoffers te bepalen, is gebruikgemaakt van de registratiegraden voor doden (bron: DVS-CBS) en ziekenhuisopnamen en lichtgewonden (bron: DVS-SWOV). De registratiegraden worden slechts voor een beperkt aantal disaggregaties bepaald en bereiken niet het detailniveau dat in dit onderzoek nodig is. Om voor de selectie in



2006 in dit onderzoek de werkelijke aantallen te berekenen is aangenomen dat de registratiegraad van slachtoffers onder alle auto-inzittenden overeenkomt met de registratiegraad van de selectie in 2006. Voor 2006 was de registratiegraad voor verkeersdoden 95%. De registratiegraad voor ziekenhuisgewonden en lichtgewonden in 2006 waren ten tijde van dit onderzoek nog niet bekend. Daarom is er een schatting gemaakt op basis van de trend van de afgelopen jaren, namelijk 80% voor ziekenhuisopnamen en 25% voor de lichtgewonde slachtoffers.

In 2006 vielen er 811 verkeersdoden. Dit onderzoek is van toepassing op ongeveer 5% daarvan, namelijk 40 verkeersdoden onder bestuurders in auto-auto-ongevallen, zie *Tabel 3.1*. Voor ziekenhuisgewonden en lichtgewonden ligt dat percentage in dezelfde orde van grootte. Dit geeft aan dat dit onderzoek zeker relevant is. Bovendien heeft de automassa niet alleen invloed op het letselrisico van bestuurders, maar ook op dat van passagiers. Ten slotte kan een goed begrip van de invloed van voertuigmassa ook belangrijk zijn voor analyse van ongevallen met andere voertuigen.

		Geanalyseerd (2001-2006)	Werkelijke aantallen (2006)
Slachtoffers	Dood	234	40
	Ziekenhuis	5.137	1.300
	Lichtgewond	16.228	11.700
Ongevallen (letsel en UMS)		255.473	

*Tabel 3.1. Aantallen slachtoffers onder bestuurders en ongevallen in de periode 2001-2006 die geanalyseerd zijn binnen dit onderzoek (linker kolom) en de werkelijke aantallen slachtoffers in 2006 waarop de resultaten van dit onderzoek van toepassing zijn.*

### 3.4. Analyses

In dit rapport worden massaverdeling, relatief-massaverschilverdeling en het absoluut letselrisico geanalyseerd. Hieronder worden deze begrippen uitgelegd en wordt toegelicht hoe de analyses uitgevoerd worden.

#### 3.4.1. Massaverdeling

Gemiddelde en standaarddeviatie van massa zijn vrij ruwe maten voor de opbouw van het wagenpark naar gewicht. De gemiddelde massa  $\bar{m}$  kan gebruikt worden om de toename van automassa over de jaren te monitoren. De standaarddeviatie van de massa,  $\sigma_m$ , wordt gebruikt als maat voor de onderlinge verschillen in de massa van auto's (spreiding in automassa). Een betere indruk van de opbouw van het wagenpark kan verkregen worden met een massaverdeling bijvoorbeeld (Van Kampen, 2000, 2003). Een massaverdeling geeft het aantal personenauto's per gewichtsklasse in een bepaald jaar. In dit rapport wordt de gewichtsklasse altijd aangegeven met het middelste gewicht binnen die klasse. Alle gewichtsklassen bestrijken 100 kg (bijvoorbeeld 951-1050 kg) behalve de onderste gewichtsklasse (0-450 kg) en de bovenste gewichtsklasse (2451 kg en meer).

### 3.4.2. Relatief massaverschil

In dit rapport wordt de afhankelijkheid van het absoluut letselrisico van de massa van beide auto's geanalyseerd. Daarbij moet een keuze gemaakt worden voor de wijze waarop de invloed van de automassa wordt meegenomen. Het effect van verschillende massa kan tot uitdrukking worden gebracht in bijvoorbeeld het massaverschil of de massaverhouding. Het massaverschil wordt berekend door het verschil van beide massa's te nemen:

$$\text{massaverschil} = m_1 - m_2 \quad (3.1)$$

Het massaverschil heeft het nadeel dat een bepaald massaverschil tussen twee lichte auto's een veel grotere invloed heeft op het absoluut letselrisico dan eenzelfde verschil tussen twee zware auto's. De massaverhouding heeft dit nadeel niet. De massaverhouding kan berekend worden door beide massa's op elkaar te delen:

$$\text{massaverhouding} = \frac{m_2}{m_1} \quad (3.2)$$

De massaverhouding is 1 wanneer de massa's gelijk zijn. Een voorbeeld van een lichte (800 kg) en een zware auto (1000 kg) brengt een nadeel van de massaverhouding aan het licht. Wanneer voor de lichte auto  $auto_1$  wordt genomen en voor de zware auto  $auto_2$ , dan is de massaverhouding 1,25. Een verschil van 0,25 met 1, de massaverhouding van twee even zware auto's. Wanneer het omgekeerd wordt en de lichte auto  $auto_2$  is, dan is de massaverhouding 0,8. Dat is een verschil van 0,2 met 1. Dat is niet hetzelfde. Elke auto kan met iedere andere auto botsen, daardoor zijn alle combinaties van massaverschillen mogelijk. De verdeling van de massaverhouding van alle ongevallen is dan een scheve verdeling. De massaverhouding heeft dus het nadeel dat de distributie hiervan niet symmetrisch is.

Het relatief massaverschil  $\mu$  heeft geen van beide nadelen. Daarom is gewerkt met het relatief massaverschil: het massaverschil gedeeld door de som der massa's:

$$\mu = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = \frac{\Delta m}{\Sigma m} \quad (3.3)$$

Wanneer het relatief massaverschil van de auto van een bestuurder bepaald wordt, is  $m_1$  de massa van de eigen auto en  $m_2$  de massa van de auto van de tegenpartij.

Uit *Paragraaf 2.2* blijkt dat de gemiddelde versnelling van een auto tijdens een ongeval – waarvan het letselrisico afhankelijk is – evenredig is met de massa van de andere auto gedeeld door de som van de massa's:

$$\bar{a}_1 \sim \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (3.4)$$

Het zou logisch zijn om  $m_2/(m_1+m_2)$  als parameter te nemen, maar ook het relatief massaverschil,  $\mu$ , is logisch, omdat  $m_2/(m_1+m_2)$  lineair afhankelijk is van  $\mu$ :

$$\frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \mu \quad (3.5)$$

Bovendien is het relatief massaverschil  $\mu$  symmetrisch rond nul, in tegenstelling tot  $m_2/(m_1+m_2)$ , dat symmetrisch is rond een half. De lichtste auto heeft de kleinste (= meest negatieve) waarde van  $\mu$ , wat logischer aanvoelt dan de grootste waarde van  $m_2/(m_1+m_2)$  voor de lichtste auto. Vandaar dat de SWOV ervoor heeft gekozen om het relatief massaverschil  $\mu$  als parameter te gebruiken in dit onderzoek.

Het relatief massaverschil  $\mu$  kan eenvoudig omgeschreven worden naar de massaratio  $m_2/m_1$ , die in de literatuur (bijvoorbeeld Evans, 1994) veel gebruikt wordt:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \quad (3.6)$$

### 3.4.3. Relatief-massaverschilverdeling

Analoog aan de massaverdeling kan er een relatief-massaverschilverdeling worden gemaakt. Een relatief-massaverschilverdeling geeft het aantal personenauto's per klasse van relatief massaverschil. Een relatief massaverschil bestaat alleen wanneer twee auto's botsen; bij een ongeval zijn dus twee bestuurders betrokken. De relatieve massaverschillen van de auto's van beide bestuurders zijn opgenomen in de relatief-massaverschilverdeling. Het relatief massaverschil van de auto van de ene bestuurder is gelijk aan het relatief massaverschil van de auto van de andere bestuurder, met een minteken:

$$\mu_A = -\mu_B \quad (3.7)$$

Bijvoorbeeld, er botsen twee personenauto's van 900 en 1100 kg. Voor de lichtste auto (auto A) is de massa van de eigen auto  $m_1$  900 kg en is de massa van de tegenpartij  $m_2$  1100 kg. Het relatief massaverschil van de auto A is:

$$\mu_A = \frac{900 - 1100}{900 + 1100} = -0,1 \quad (3.8)$$

Voor de zwaarste auto (auto B) is de massa van de eigen auto  $m_1$  1100 kg en is de massa van de tegenpartij  $m_2$  900 kg. Het relatief massaverschil van de auto B is:

$$\mu_B = \frac{1100 - 900}{1100 + 900} = 0,1 \quad (3.9)$$

De relatief-massaverschilverdeling voor auto's van bestuurders in alle ongevallen (ook UMS) is dus symmetrisch en heeft gemiddelde nul. De relatief-massaverschilverdeling wordt bepaald door de massaverdeling van het park onder de aanname dat elke auto met iedere andere auto kan botsen. Daarnaast wordt deze verdeling tevens beïnvloed door het gebruik van de voertuigen (jaarkilometrage en wegtype). Dus de relatief-massaverschilverdeling weerspiegelt de parkverdeling, waarbij rekening is gehouden met het feitelijke gebruik.

De relatief-massaverschilverdeling kan niet alleen bepaald worden voor de auto's van alle bestuurders betrokken bij ongevallen (ook UMS), maar kan ook bepaald worden voor de auto's van slachtoffers en hun tegenpartijen. De relatief-massaverschilverdeling voor slachtoffers kan bepaald worden door te disaggregeren naar letselernst. Bijvoorbeeld, de relatief-massaverschilverdeling voor ziekenhuisgewonden kan bepaald worden door alleen bestuurders te selecteren die opgenomen zijn in het ziekenhuis. Bij de bepaling van  $\mu$  is  $m_1$  de massa van de auto van het slachtoffer en  $m_2$  de massa van de auto van de tegenpartij.

De relatief-massaverschilverdeling kan gedisaggregeerd worden naar geslacht, leeftijd en automassaklasse. Bijvoorbeeld, de relatief-massaverschilverdeling voor vrouwelijke bestuurders kan bepaald worden door alleen vrouwelijke bestuurders te selecteren. Bij de bepaling van  $\mu$  is de massa van de auto van deze vrouwelijke bestuurders  $m_1$ . Deze vrouwen botsen zowel met vrouwelijke als mannelijke bestuurders. Bij de bepaling van  $\mu$  is de massa van de tegenpartij  $m_2$ . Deze relatief-massaverschilverdeling is gemiddeld niet nul, omdat de vrouwelijke bestuurders en de tegenpartijen van vrouwelijke bestuurders niet dezelfde groep zijn. Als mannen gemiddeld in zwaardere auto's rijden dan vrouwen, is het gemiddelde van de relatief-massaverschilverdeling van vrouwelijke bestuurders negatief.

#### 3.4.4. *Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil*

Het absoluut letselrisico  $L$  (zie *Paragraaf 2.1*) is onderwerp van dit onderzoek. Om de invloed van automassa op het absoluut letselrisico te bepalen is het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$ , bepaald.  $L(\mu)$  is voor verschillende maten van letselernst bepaald, namelijk voor dodelijke afloop, ziekenhuisopname en lichtgewond.

$L$  als functie van  $\mu$  kan bepaald worden door het aantal keer dat een bestuurder letsel met een bepaalde ernst heeft als functie van  $\mu$  te delen door het aantal keer dat er een bestuurder betrokken is bij een ongeval als functie van  $\mu$ . Dus  $L(\mu)$  is de relatief-massaverschilverdeling voor slachtoffers onder bestuurders gedeeld door de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders in ongevallen:

$$L(\mu) = \frac{RMVV_{letsel}(\mu)}{RMVV_{alle}(\mu)} \quad (3.10)$$

Door onderregistratie zegt de absolute waarde van het aldus berekende letselrisico niet zo veel, want de onderregistratie is voor UMS-ongevallen veel groter dan die voor verschillende typen letselongevallen. Omdat we de geregistreerde UMS-ongevallen beschouwen als een aselechte steekproef van het werkelijke aantal UMS-ongevallen (zie *Paragraaf 3.1.2.2*), is ervan uitgegaan dat de automassa's die voorkomen in de geregistreerde ongevallen dezelfde zijn als die voorkomen in alle UMS-ongevallen. De afhankelijkheid van het absoluut letselrisico van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  is daarom wel representatief. Dat wil zeggen: het werkelijke letselrisico zal van het hier berekende letselrisico  $L(\mu)$  verschillen met een vaste factor die niet afhangt van  $\mu$ . Om die factor te kunnen uitrekenen moet de registratiegraad van alle ongevallen (met letsel, of met uitsluitend materiële schade) goed bekend zijn, hetgeen vooral voor UMS-ongevallen helaas niet zo is. Het werkelijk absoluut letselrisico is dus vanwege de onbekende registratiegraad onbekend. Gemakshalve spreken we in dit rapport consequent van het absoluut letselrisico  $L(\mu)$ , waar we eigenlijk het *berekende* absoluut letselrisico bedoelen.

Ook is het mogelijk om dit absoluut letselrisico  $L$  voor verschillende groepen (naar geslacht en leeftijd) te vergelijken, maar dit is niet mogelijk voor verschillende jaren, omdat de registratiegraad per jaar verschilt en onbekend is. Omdat de registratiegraad voor 2006 anders is dan die voor 2004, heeft een vergelijking tussen  $L(\mu)$  voor 2004 en  $L(\mu)$  voor 2006 geen betekenis; ze kunnen verschillen omdat de registratiegraad van UMS-ongevallen verschilt.

#### 3.4.5. *Absoluut letselrisico als functie van de automassa*

In eerste instantie wordt ervan uitgegaan dat het absoluut letselrisico geen functie is van de automassa. De automassa zelf is volgens de botsingswetten namelijk niet van invloed op het letselrisico. Volgens de fysicawetten (*Bijlage 1*) heeft alleen het relatief massaverschil invloed op de vertraging tijdens een botsing, en dus de letselernst. Hierbij wordt voorbijgegaan aan het feit dat er bij hogere massa gemiddeld meer secundaire-veiligheidscomponenten aanwezig zijn. Dus het letselrisico bij een botsing tussen twee zware auto's met een bepaald relatief massaverschil is waarschijnlijk lager dan bij een botsing tussen twee lichte auto's met datzelfde relatieve massaverschil. Later wordt nagegaan hoe groot het effect van secundaire-veiligheidsvoorzieningen is, en of het terecht is dat we hier aan deze verschillen voorbijgaan.

Het is moeilijk om het effect van automassa,  $m$ , op het absoluut letselrisico te kwantificeren, omdat de effecten van de automassa en van het relatief massaverschil niet onafhankelijk zijn. Dit probleem wordt vermeden door het effect van automassa op het absoluut letselrisico bij botsingen tussen twee even zware auto's,  $L(\mu = 0, m)$ , te bepalen in plaats van alle verschillen in automassa mee te nemen,  $L(\mu, m)$ .

De bepaling van  $L(0, m)$  gaat als volgt. Eerst wordt voor iedere massaklasse het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L_m(\mu)$ ,

bepaald, zoals omschreven in *Paragraaf 3.4.4*. Van deze functies worden de asafsnedes,  $L_m(0)$ , bepaald. Dit zijn de absolute letselrisico's bij botsingen tussen twee even zware auto's voor een bepaalde massaklasse. Wanneer deze als functie van de massaklasse worden uitgezet volgt  $L(0,m)$ .

### 3.4.6. *Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil en de leeftijd van de bestuurder*

Naast het absolute letselrisico als functie van het relatieve massaverschil  $L(\mu)$ , is ook het absolute letselrisico als functie van het relatief massaverschil en de leeftijd van de bestuurder ( $lft$ ) bepaald  $L(\mu,lft)$ .

$L$  als functie van  $\mu$  en  $lft$  kan bepaald worden door het aantal keer dat een bestuurder letsel met een bepaalde ernst heeft als functie van  $\mu$  en  $lft$  te delen door het aantal keer dat een bestuurder betrokken is bij een ongeval als functie van  $\mu$  en  $lft$ . Dus  $L(\mu,lft)$  is de tweedimensionale verdeling van slachtoffers naar  $\mu$  en  $lft$  gedeeld door de tweedimensionale verdeling van alle bestuurders in ongevallen naar  $\mu$  en  $lft$ :

$$L(\mu, lft) = \frac{V_{letsel}(\mu, lft)}{V_{alle}(\mu, lft)} \quad (3.11)$$

### 3.4.7. *Absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder*

Het absoluut letselrisico is ook als functie van de leeftijd van de bestuurder (en tevens slachtoffer) ( $lft$ ) bepaald:  $L(lft)$ .

$L$  als functie van  $lft$  kan bepaald worden door het aantal keer dat een bestuurder letsel met een bepaalde ernst heeft als functie van de leeftijd van het slachtoffer te delen door het aantal keer dat er een bestuurder betrokken is bij een ongeval als functie van de leeftijd van de bestuurder. Dus  $L(lft)$  is de leeftijdsverdeling van slachtoffers gedeeld door de leeftijdsverdeling van alle bestuurders in ongevallen:

$$L(lft) = \frac{V_{letsel}(lft)}{V_{alle}(lft)} \quad (3.12)$$

### 3.4.8. *Leeftijdscategorieën*

Het absoluut letselrisico  $L$  van verschillende groepen (naar geslacht en leeftijd) zijn vergeleken. Daarvoor is een keuze gemaakt voor vier leeftijds-categorieën. De categorieën jongeren van 18 t/m 24 jaar en ouderen van 65 jaar en ouder zijn min of meer standaard. In de groep te analyseren bestuurders zitten 98.069 jongeren en 43.844 ouderen. De tussenliggende groep volwassenen zijn opgedeeld in twee groepen van min of meer gelijke grootte te weten volwassenen van 25 t/m 39 jaar ( $N = 186.101$ ) en volwassenen van 40 t/m 64 jaar ( $N = 170.207$ ).

## 4. Massa

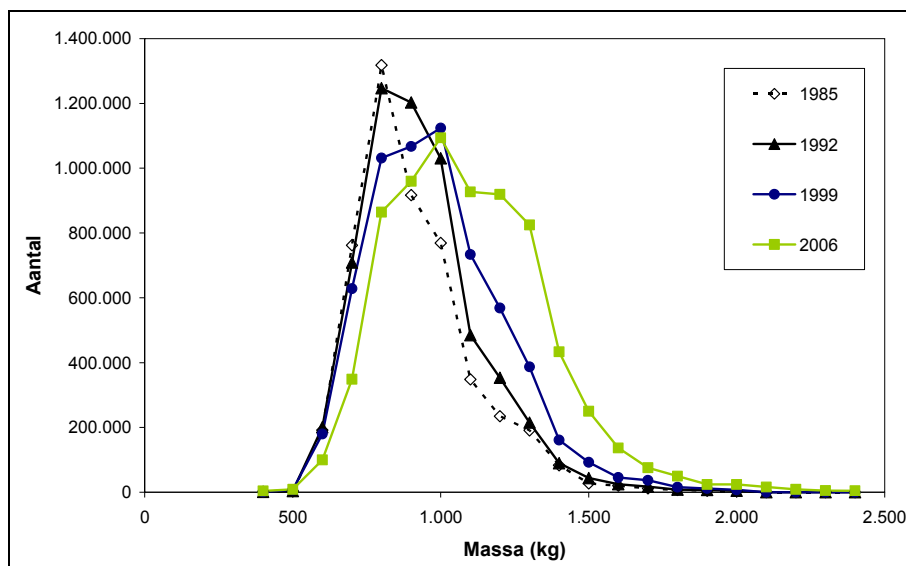
Dit hoofdstuk gaat nader in op de massa van het personenautopark en de massa van personenauto's betrokken bij auto-auto-ongevallen. Er wordt aangetoond dat de gemiddelde massa van personenauto's toeneemt en dat de spreiding in massa toeneemt. Bovendien wordt gekwantificeerd dat vrouwen, jongeren en ouderen in lichtere auto's rijden, door de parkcijfers uit te splitsen naar leeftijd en geslacht.

Met behulp van de Statistiek van de Motorvoertuigen (CBS, 1985, 1986, 1987, 1988, etc.) is het mogelijk om de ontwikkeling van de massaverdeling van het park te monitoren (zie *Paragraaf 4.1*). Gegevens over de automassa naar geslacht en leeftijdscategorie van de bestuurder zijn verkregen via het ongevallenbestand BRON (zie *Paragraaf 4.2*). De gegevens uit BRON betreffen de massa van bij auto-auto-ongevallen betrokken personenauto's, uitgesplitst naar geslacht en leeftijd van de bestuurder. Als we aannemen dat het ongevalsrisico (definitie in *Paragraaf 2.1*) niet afhangt van de massa, zijn auto's betrokken bij een ongeval een goede steekproef van wat er aan personenauto's van verschillende massa op de weg rondrijdt, dat wil zeggen een combinatie van park en mobiliteit (afgelegde voertuigkilometers).

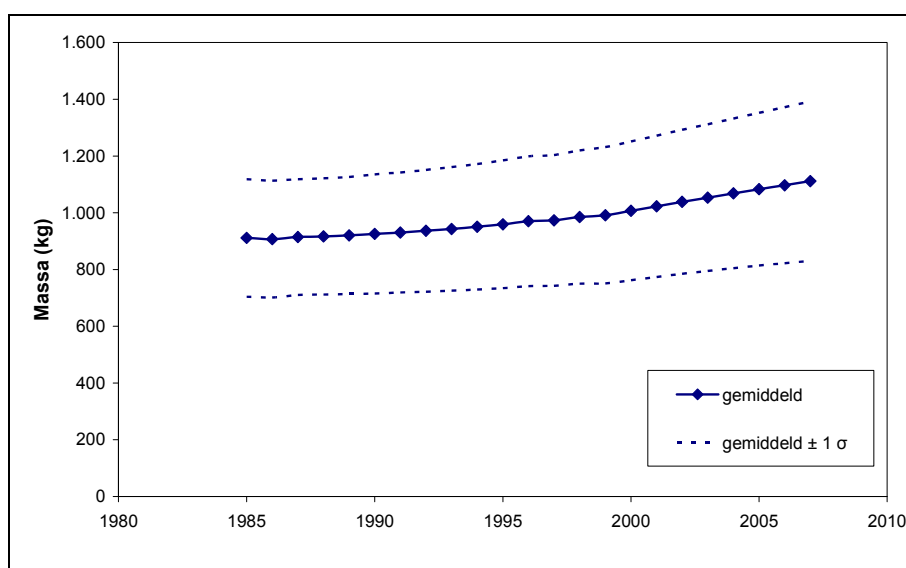
In *Paragraaf 4.2.1* wordt gekeken of de verdeling van massa van bij ongevallen betrokken personenauto's inderdaad overeenkomt met de massaverdeling van het park. Vervolgens wordt de massaverdeling naar geslacht (*Paragraaf 4.2.2*) en voor verschillende leeftijdsklassen getoond (*Paragraaf 4.2.3*). Bovendien wordt de gemiddelde massa en de spreiding van de massa voor iedere combinatie van leeftijd en geslacht gegeven (*Paragraaf 4.2.4*), omdat de gemiddelde massa binnen de vier leeftijds-klassen soms nogal wat varieert.

### 4.1. De ontwikkeling van automassa van het park

De historie van het park is onderzocht met behulp van CBS-gegevens (Statistiek van de Motorvoertuigen) voor de jaren 1985-2006, zie *Paragraaf 3.1.1*. De massaverdelingen voor de jaren 1985, 1992, 1999 en 2006 zijn te zien in *Afbeelding 4.1*. De verdeling is steeds breder geworden en steeds meer naar hogere massa opgeschoven. Dus zowel de gemiddelde massa als de spreiding in massa is toegenomen met de jaren. Dit is ook te zien in *Afbeelding 4.2*, waar voor ieder jaar de gemiddelde massa  $\bar{m}$  en de spreiding in massa is uitgezet. De standaarddeviatie  $\sigma_m$  is gebruikt als maat voor de spreiding. Sinds 1999 neemt de gemiddelde massa met 15 kg per jaar toe. De spreiding is ieder jaar meer toegenomen. De relatieve spreiding ( $= \sigma_m / \bar{m}$ ) is lineair toegenomen (ongeveer 0,15% per jaar) tot circa 25% in 2006.



Afbeelding 4.1. De massaverdeling voor 1985, 1992, 1999 en 2006. Bron: CBS Statistiek van de motorvoertuigen.



Afbeelding 4.2. De ontwikkeling van de gemiddelde massa en de spreiding daarin. Bron: CBS Statistiek van de motorvoertuigen.

## 4.2. Verdeling van automassa in auto-auto-ongevallen

### 4.2.1. De massaverdeling in auto-auto-ongevallen vergeleken met de massaverdeling van het park

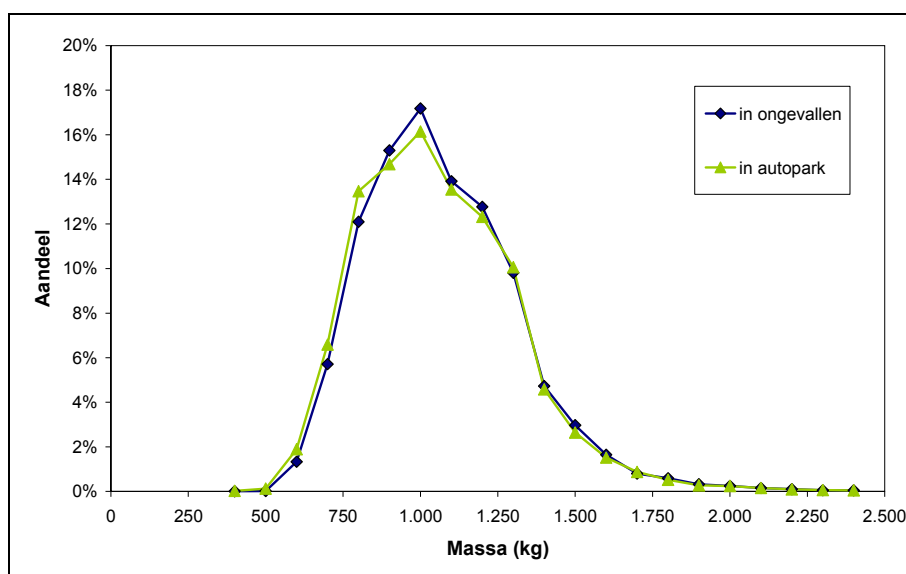
De massaverdeling van personenauto's betrokken bij auto-auto-ongevallen voor de periode 2001-2006 is vergeleken met die van alle personenauto's in het park in dezelfde periode. Voor de auto's betrokken bij auto-auto-ongevallen zijn daarvoor de door de politie geregistreerde ongevalgegevens (BRON) gekoppeld aan de voertuiggegevens van de RDW gebruikt, zie *Paragraaf 3.1.2*. Net als in de vorige paragraaf zijn de parkcijfers van het CBS gebruikt om de massaverdeling van het park te



bepalen. De aantallen per massaklasse zijn gemiddeld over de jaren 2001-2006, zodat de periode vergelijkbaar is.

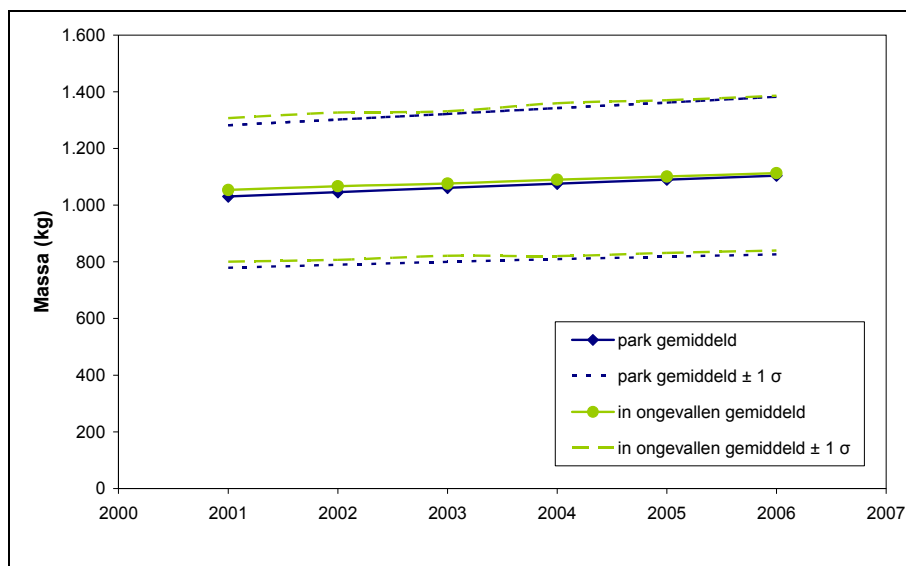
Voor iedere gewichtsklasse is het aandeel van het totaal gegeven in plaats van de absolute aantallen, omdat de aantallen heel verschillend zijn. Bovendien zijn de absolute aantallen personenauto's betrokken bij een auto-auto-ongeval niet informatief, omdat er sprake is van onderregistratie (zie *Paragraaf 3.1.2.2*).

Beide massaverdelingen worden getoond in *Afbeelding 4.3*. Ze lijken sterk op elkaar. De pieken vallen vrijwel samen en de massaverdeling voor het park is ongeveer even breed als die van auto's betrokken bij auto-auto-ongevallen.



*Afbeelding 4.3. De massaverdeling van personenauto's betrokken bij auto-auto-ongevallen en de massaverdeling van het autopark voor de periode 2001-2006. Bron parkcijfers: CBS Statistiek van de motorvoertuigen. Bron ongevallen: BRON-Ministerie van VenW & RDW*

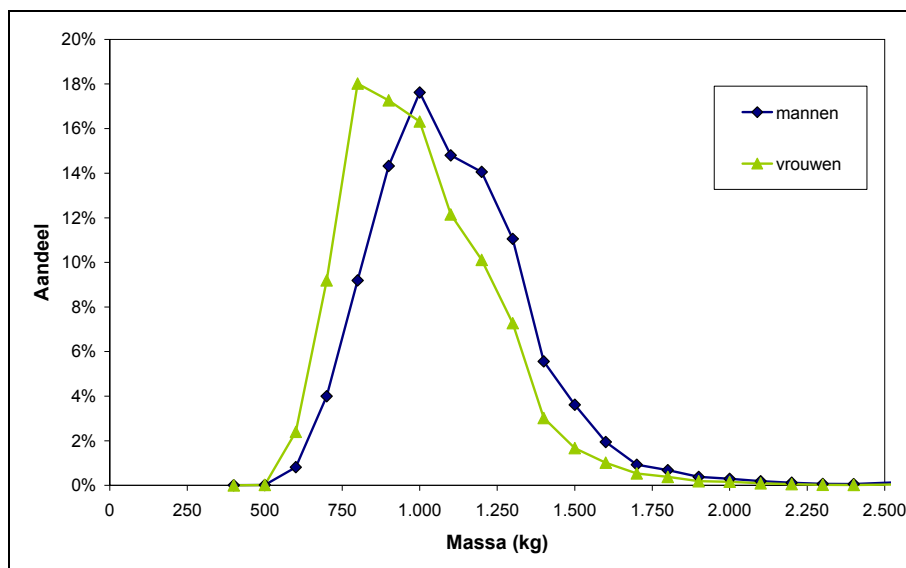
Om de massaverdelingen kwantitatief en per jaar te vergelijken worden de gemiddelde massa  $\bar{m}$  en de spreiding in massa (standaarddeviatie,  $\sigma_m$ ) gebruikt. De parkcijfers zijn alleen op 1 januari bekend. Om toch een gemiddelde over het hele jaar te berekenen is het gemiddelde genomen van de cijfers op 1 januari van het jaar en van 1 januari van het jaar daarop.  $\bar{m}$  en  $\sigma_m$  van het park en van auto's betrokken bij auto-auto-ongevallen zijn voor ieder jaar uitgezet in *Afbeelding 4.4*. De verschillen in  $\bar{m}$  en  $\sigma_m$  tussen auto's betrokken bij auto-auto-ongevallen en die in het gehele autopark zijn klein (0,8% tot 2,2% voor  $\bar{m}$ , en -1,5% tot 2,4% voor  $\sigma_m$ ).



Afbeelding 4.4. De ontwikkeling van de gemiddelde massa en de spreiding daarin voor personenauto's betrokken bij auto-auto-ongevallen en voor het park voor de periode 2001-2006. Bron parkcijfers: CBS Statistiek van de motorvoertuigen. Bron ongevallen: BRON-Ministerie van VenW & RDW.

#### 4.2.2. De automassaverdeling naar geslacht van de bestuurder

De massaverdelingen voor auto's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders in ongevallen zijn te zien in *Afbeelding 4.5*. De verdeling voor mannelijke bestuurders is breder en meer naar hoge massa verschoven. Dus zowel de gemiddelde massa als de spreiding in massa is kleiner voor vrouwelijke bestuurders. Dit is ook te zien in *Tabel 4.1*, waar voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders de gemiddelde automassa en de spreiding in automassa is gegeven. Vrouwen rijden in een gemiddeld 70 kg lichtere auto dan de gemiddelde Nederlander.



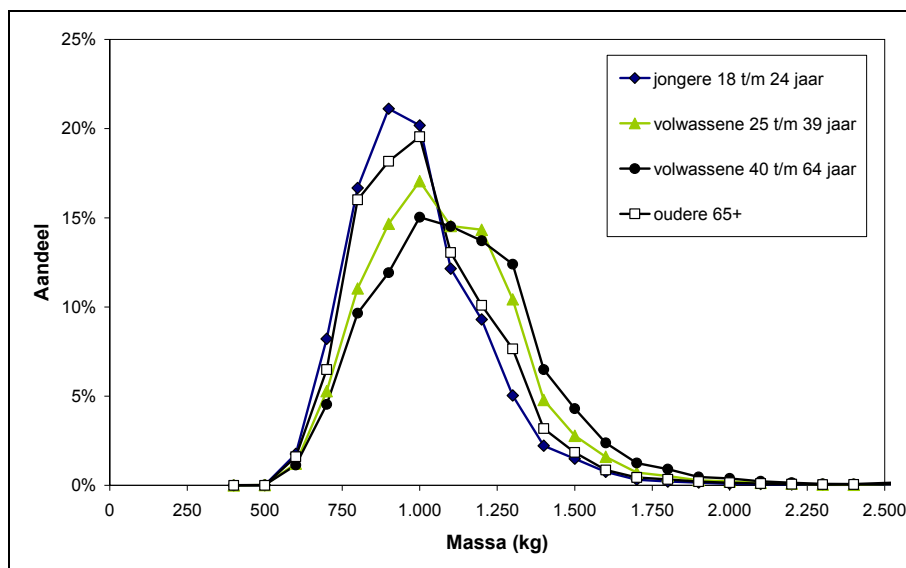
Afbeelding 4.5. De massaverdeling van personenauto's met mannelijke en vrouwelijke bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen in de periode 2001-2006. Bron: BRON-Ministerie van VenW & RDW.

Geslacht	Gemiddelde massa (kg)	Standaarddeviatie (kg)
Mannen (N = 334.286)	1.114	267
Vrouwen (N = 165.721)	1.009	240
Alle bestuurders	1.079	258

Tabel 4.1. De gemiddelde massa en de spreiding in massa voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders en voor alle bestuurders samen.

#### 4.2.3. De automassaverdeling naar leeftijd van de bestuurder

De massaverdelingen voor auto's van jongeren (18-24), volwassenen van 25-39, volwassenen van 40-64, en ouderen (65+) zijn te zien in Afbeelding 4.6. De verdelingen voor volwassen bestuurders (25-39 en 40-64) zijn meer naar hogere massa verschoven dan die voor jongere (18-24) en oudere (65+) bestuurders. De gemiddelde automassa is lager voor jongere en oudere bestuurders. Ook hier is verdeling smaller voor groepen die een lagere gemiddelde massa hebben. Dit is ook te zien in Tabel 4.2, waar voor de vier leeftijdsklassen de automassa en de spreiding in automassa is gegeven. Jongeren rijden gemiddeld in een 82 kg lichtere auto dan de gemiddelde Nederlander. Ouderen rijden gemiddeld in een 53 kg lichtere auto dan de gemiddelde Nederlander.



Afbeelding 4.6. De massaverdeling van personenauto's met bestuurders van verschillende leeftijden betrokken bij auto-auto-ongevallen in de periode 2001-2006. Bron: BRON-Ministerie van VenW & RDW

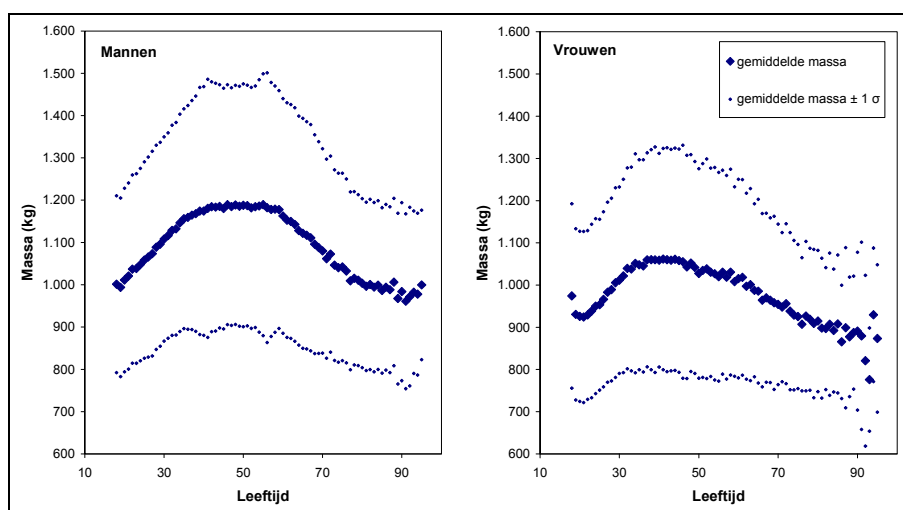
	Gemiddelde massa (kg)	Standaarddeviatie (kg)
Jongeren 18 t/m 24 jaar (N = 98.069)	997	219
Volwassenen 25 t/m 39 jaar (N = 186.101)	1.086	255
Volwassenen 40 t/m 64 jaar (N = 170.207)	1.132	286
Ouderen 65+ (N = 43.844)	1.026	232
Alle bestuurders	1.079	258

Tabel 4.2. De gemiddelde massa en de spreiding in massa voor vier leeftijdsklassen.

#### 4.2.4. De gemiddelde massa naar leeftijd en geslacht van de bestuurder

In Afbeelding 4.7 zijn de gemiddelde waarden en spreiding van de automassa te zien voor alle combinaties van leeftijd en geslacht van de bestuurder. Bij mannelijke bestuurders tussen de 18 en de 35 jaar neemt de gemiddelde automassa vrijwel lineair toe van bijna 1.000 tot ruim 1.150 kg. Voor mannelijke bestuurders tussen de 35 en 60 jaar is de gemiddelde automassa ongeveer constant (circa 1.180 kg). Voor mannelijke bestuurders boven de 60 neemt de gemiddelde automassa eerst gestaag af en daarna vlak het af tot circa 980 kg. Bij vrouwelijke bestuurders is een soortgelijk patroon te zien, maar de gemiddelde automassa ligt veel lager voor alle leeftijden (ongeveer 100 kg). De gemiddelde automassa neemt toe voor vrouwelijke bestuurders tussen de 18 en 35 jaar van ongeveer 920 tot 1.050 kg. Voor vrouwelijke bestuurders tussen de 35 en 46 jaar is de gemiddelde automassa ongeveer constant (1.050 kg) en boven de 46 jaar neemt de gemiddelde automassa langzaam af tot ongeveer 880 kg.

Ook hier is dus weer te zien dat vrouwen, jongeren en ouderen in lichtere auto's rijden dan gemiddeld.



Afbeelding 4.7. De gemiddelde massa en de spreiding daarop van auto's met mannelijke (linker grafiek) en vrouwelijke bestuurders (rechter grafiek) betrokken bij auto-auto-ongevallen in de periode 2001-2006 als functie van de leeftijd van de bestuurder. Bron: BRON-Ministerie van VenW & RDW.

#### 4.3. Conclusies

De gemiddelde massa van het park personenauto's neemt toe met 15 kg per jaar sinds 1999. De spreiding in massa neemt ieder jaar meer toe. De relatieve spreiding ( $= \sigma_m / \bar{m}$ ) is lineair toegenomen met ongeveer met 0,15% per jaar tot circa 25% in 2006. Als gevolg daarvan neemt ook de spreiding in het relatief massaverschil tussen personenauto's betrokken bij ongevallen toe.

De massaverdeling van auto's betrokken bij auto-auto-aanrijdingen is een goede benadering voor de massaverdeling van het park. Gemiddelde en standaarddeviatie verschillen ieder jaar minder dan 2,5%. De standaarddeviatie fluctueert over de jaren 2001-2006, maar de gemiddelde massa voor het park ligt voor alle jaren iets lager dan voor auto's betrokken bij ongevallen. Dit zou kunnen komen doordat zwaardere auto's meer kilometers rijden in een jaar en daardoor vaker bij een ongeval betrokken zijn.

Vrouwen, jongeren en ouderen rijden in lichtere auto's dan gemiddeld (respectievelijk 70, 82 en 53 kg minder dan gemiddeld). Vrouwen rijden op alle leeftijden in een auto van circa 100 kg minder dan hun mannelijke leeftijdsgenoten. Daardoor rijden jonge en oude vrouwen gemiddeld in de lichtste auto's, terwijl mannen van middelbare leeftijd gemiddeld in de zwaarste auto's rijden. Een reden waarom jongeren vaak in lichtere auto's rijden is dat zij vaak een goedkope auto aanschaffen. De gemiddelde leeftijd van de auto's van jongeren van 18 t/m 24 jaar (9,6 jaar) is bijna twee jaar ouder dan de gemiddelde autoleeftijd van alle bestuurders in dit onderzoek (7,8 jaar). Mannen rijden gemiddeld in een zwaardere auto dan vrouwen, onder andere omdat zij vaker de mogelijkheid hebben om in een leaseauto

te rijden. 17% van de mannelijke werknemers rijdt in een leaseauto tegenover 7% van de vrouwelijke werknemers (FNV, 2008). Ook krijgen mannen vaker een hogere bijdrage van de werkgever voor de leaseauto, waardoor zij in een zwaardere auto kunnen rijden. 65-plussers hebben meestal niet de mogelijkheid om in een leaseauto te rijden. Een andere reden dat mannen gemiddeld in zwaardere auto's rijden is omdat zij meer statusgevoelig zijn. Alleenstaande vrouwen zijn minder statusgevoelig dan alleenstaande mannen als het gaat om de aanschaf van een auto (Wegener DM, 2008).

## 5. Massaverschillen en het absoluut letselrisico

In dit hoofdstuk wordt het absoluut letselrisico bepaald als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$  voor drie maten van letselernst, namelijk lichtgewond, ziekenhuisopname en dood.

Daarvoor is nodig:

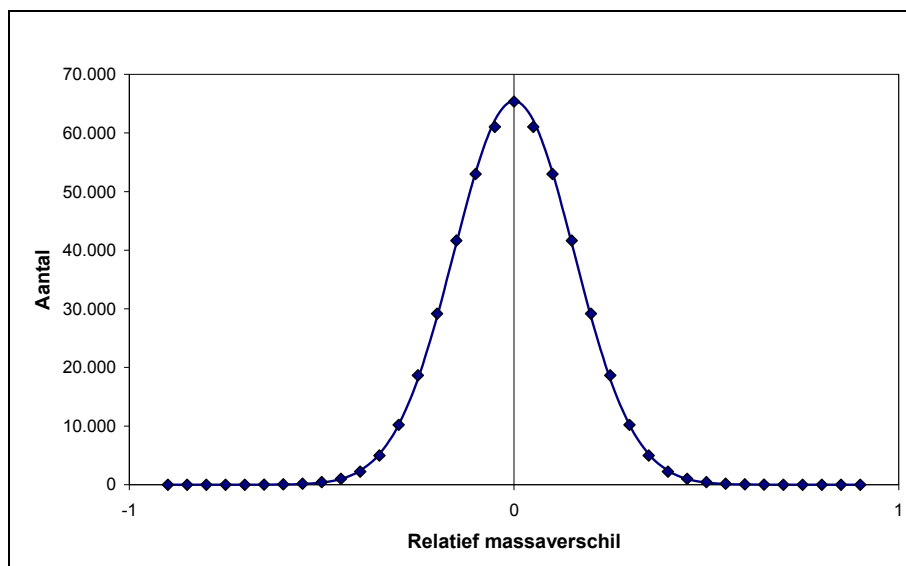
- Het aantal bestuurders dat betrokken is bij een auto-auto-ongeval als functie van het relatief massaverschil van hun auto's. Dit is de relatief-massaverschilverdeling voor alle betrokken bestuurders in auto-auto-ongevallen (*Paragraaf 5.1*).
- Het aantal letselslachtoffers als functie van het relatief massaverschil. Dit is de relatief-massaverschilverdeling voor letselslachtoffers. Deze wordt bepaald voor drie maten van letselernst, namelijk lichtgewond, ziekenhuisopname en dood (*Paragraaf 5.2*).

Het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$ , is de verhouding tussen bovenstaande relatief-massaverschilverdelingen, zie *Paragraaf 3.4.4*.  $L(\mu)$  is bepaald in *Paragraaf 5.3*, op een constante factor na wegens onderregistratie (zie *Paragraaf 3.1.2.2*).

Met behulp van het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$ , is gekeken wat de gevolgen zijn voor individuele verkeersdeelnemers wanneer zij in zeer lichte of zware personenauto's rijden (*Paragraaf 5.4*). Ook is het aantal slachtoffers bepaald dat veroorzaakt wordt door de verschillen in massa van personenauto's (*Paragraaf 5.5*) en zijn prognoses gedaan voor het effect van toenemende massaverschillen op het aantal slachtoffers in 2010 en 2020 (*Paragraaf 5.6*).

### 5.1. De relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders

*Afbeelding 5.1* toont de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen in de periode 2001-2006. De verdeling is significant verschillend van een normale verdeling (getest met SAS: Kolmogorov-Smirnov-test  $D_{503,257} = 2,1 \cdot 10^{-3}$ ,  $p < 0,01$ ). Uit de Q-Q-plot blijkt dat alleen de uitersten van de staarten niet overeenkomen met een normale verdeling ( $Q > 4$  of  $Q < -4$ ). Dus in de praktijk wijkt de relatief-massaverschilverdeling nauwelijks af van een normale verdeling. De kleine afwijking is er omdat een normale verdeling doorloopt tot in het oneindige, terwijl de relatief-massaverschilverdeling in de praktijk van -0,9 tot 0,9 loopt bij automassa's tussen de 200 kg en 3.500 kg. Het gemiddelde van de relatief-massaverschilverdeling is nul, want het relatief massaverschil in de ene auto in een ongeval is gelijk aan het relatief massaverschil van de andere auto met een minteken (zie *Paragraaf 3.4.3*). De standaarddeviatie  $\sigma$  is 0,156.



Afbeelding 5.1. De relatief-massaverschilverdeling voor bestuurders in alle auto-auto-ongevallen. Op de verticale as staat het aantal bestuurders per klasse van relatief massaverschil. De breedte van de klassen van massaverschil is 0,05. De gesloten ruitjes geven de aantallen aan, terwijl de doorgetrokken lijn de best passende normale verdeling is.

## 5.2. De relatief-massaverschilverdeling bij letselslachtoffers

De relatief-massaverschilverdelingen in de periode 2001-2006 voor drie maten van letselernst van de bestuurder (dood, in ziekenhuis opgenomen, en lichtgewond) zijn weergegeven in *Afbeelding 5.2*. De drie curven zijn genormeerd, zodat het oppervlak gelijk is aan 1 (100%), en zodat op de y-as het aandeel uitstaat. Dit is gedaan, omdat de aantallen nogal verschillen tussen de drie letselernsten. Deze verdelingen zijn niet significant verschillend van een normale verdeling (getest met SAS; het aantal waarnemingen is bepalend voor de keuze van de test; dood: Shapiro-Wilk-test  $W_{234} = 0,995$ ,  $p = 0,60$ ; ziekenhuisopname: Kolmogorov-Smirnov-test  $D_{5.137} = 1,0 \cdot 10^{-2}$ ,  $p > 0,15$ ; lichtgewond: Kolmogorov-Smirnov-test  $D_{16.228} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ ,  $p > 0,15$ ). De verdeling voor de doden is nogal verstrooid door de geringe aantallen.

De gemiddelden  $\mu_{letsel}$  en de standaarddeviaties  $\sigma_{letsel}$  van de relatief-massaverschilverdelingen worden gegeven in *Tabel 5.1*. De gemiddelden zijn allemaal negatief. Dat betekent dat het letselslachtoffer vaker in de lichtste auto zit. Het gemiddeld relatief massaverschil tussen de auto van het slachtoffer en de tegenpartij neemt toe bij toenemende letselernst. Bij dodelijke ongevallen is het verschil in massa gemiddeld groter dan bij ongevallen waarbij letsel optreedt. Dus bij dodelijke ongevallen zit het slachtoffer nog vaker in de lichtste auto dan bij een ongeval waarbij een gewonde valt.

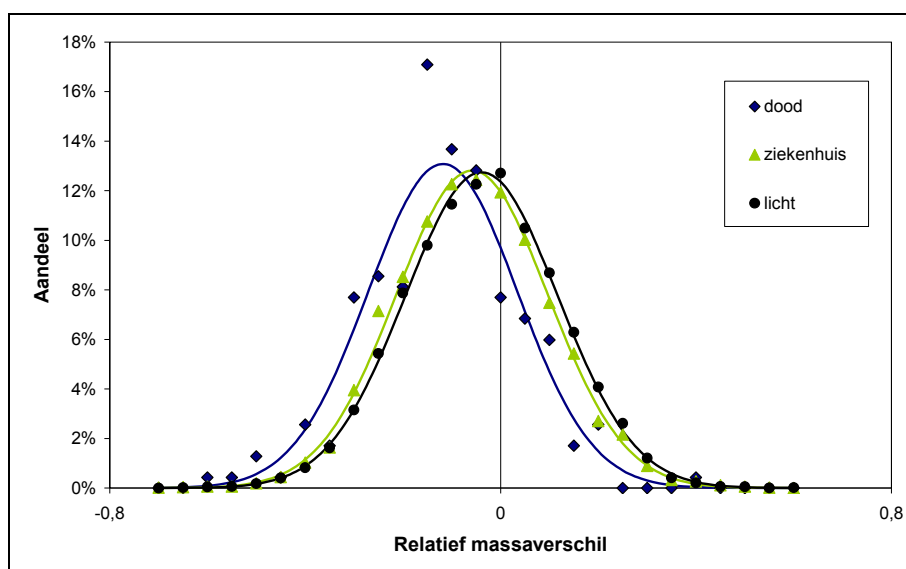
De gevonden standaarddeviaties van de verdelingen (*Tabel 5.1*) zijn allemaal ongeveer gelijk, en ook gelijk aan de standaarddeviatie van de relatief-massaverschilverdeling van alle ongevallen (*Paragraaf 5.1*). De relatief-massaverschilverdelingen voor letselslachtoffers hangt samen met



de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders via het letselrisico voor de betreffende letselernst (zie *Paragraaf 3.4.4*) volgens:

$$RMVV_{letsel}(\mu) = L(\mu) \cdot RMVV_{alle}(\mu) \quad (5.1)$$

Blijkbaar (gezien de gelijke standaarddeviaties) heeft het letselrisico  $L$  als functie van het relatief massaverschil  $\mu$  een zodanige vorm dat de breedte van de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders in alle drie letseltypen  $RMVV_{letsel}$  behouden blijft.



Abbeelding 5.2. De genormeerde relatief-massaverschilverdeling voor letselsslachtoffers. De drie curven vertegenwoordigen de drie letselernsten. De gesloten symbolen geven de aandelen aan, terwijl de doorgetrokken lijnen de best passende normale verdelingen zijn.

Letselernst	Gemiddelde $\mu$	Standaarddeviatie $\mu$
Dood	-0,118	0,152
Ziekenhuisopname	-0,058	0,156
Lichtgewond	-0,039	0,156
Alle bestuurders	0,000	0,156

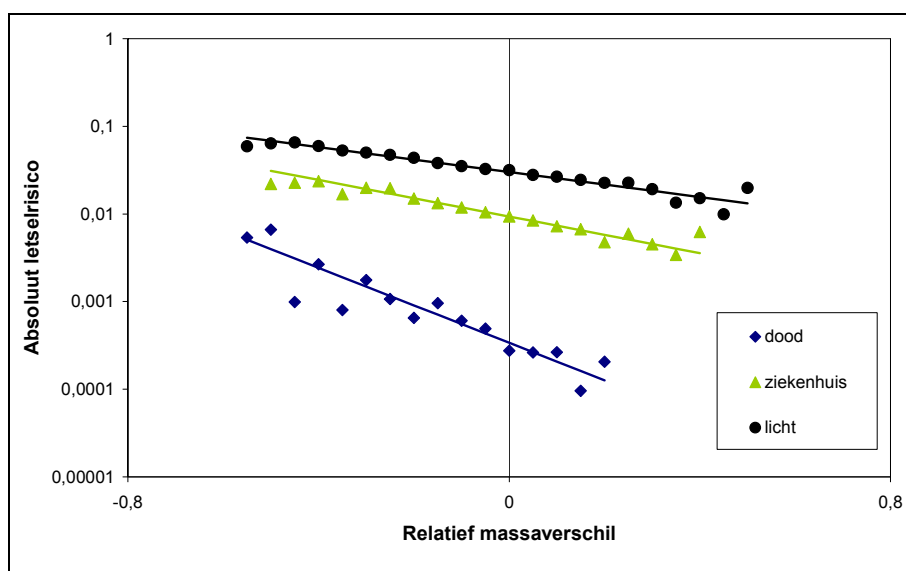
Tabel 5.1. De gemiddelde waarden en standaarddeviaties van het relatief massaverschil voor de drie letselernsten en voor alle bestuurders.

### 5.3. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil

Het letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  is gedefinieerd als de relatief-massaverschilverdeling voor letselsslachtoffers gedeeld door de relatief-massaverschilverdeling voor alle ongevallen (zie *Paragraaf 3.4.4*):

$$L(\mu) = \frac{RMVV_{letsel}(\mu)}{RMVV_{alle}(\mu)} \quad (5.2)$$

Het letselrisico voor de drie maten van letselernst is uitgezet in *Afbeelding 5.3*. Het letselrisico neemt af met een groter relatief massaverschil, dat wil zeggen een zwaardere auto van de bestuurder ten opzichte van de automassa van de tegenpartij. Dus wanneer de automassa van een bestuurder betrokken bij een ongeval tussen twee personenauto's toeneemt in verhouding tot de massa van de tegenpartij, dan neemt het overlijdens- en het letselrisico af. Dit komt overeen met eerdere resultaten (Van Kampen, 2000). Het overlijdensrisico hangt sterker van het relatief massaverschil af dan het risico op ziekenhuisopname of licht letsel.



*Afbeelding 5.3. Het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil voor drie maten van letselernst. Merk op dat de verticale as een logaritmische schaal heeft.*

De hier berekende absolute letselrisico's zijn nog afhankelijk van de registratiegraden van de gebruikte letseltypen (dood, ziekenhuisopname, lichtgewond en UMS/geen letsel). In elk berekend absoluut letselrisico staat het aantal ongevallen met UMS in de noemer. De onderregistratie van UMS heeft dus op elk van de drie letseltypen dezelfde onbekende invloed. De verschillen in registratiegraad voor ongevallen met dodelijke afloop, ziekenhuisopname of licht letsel zijn echter verschillend. Daardoor zijn de berekende resultaten voor de verschillende absolute letselrisico's niet zonder meer vergelijkbaar. Aangezien ongevallen met dodelijk letsel beter worden geregistreerd dan ongevallen met een ziekenhuisopname, en die weer beter dan ongevallen met licht letsel, zullen de werkelijke waarden van de absolute letselrisico's verder uit elkaar liggen dan hier berekend is.

Het letsel- en overlijdensrisico zijn exponentieel dalende functies van het relatief massaverschil, zoals te zien is in *Afbeelding 5.3*. Het verband tussen het relatief massaverschil en het letselrisico volgt een rechte lijn als de verticale as een logaritmische schaal heeft. Het feit dat het exponentiële functies zijn, volgt direct uit het feit dat de relatief-massaverschilverdelingen normaal zijn en dezelfde breedte hebben (zie *Bijlage 2*). De dalende trend in elk van de drie berekende letselrisico's is niet afhankelijk van de registratiegraden.

Het exponentiële verband tussen letselrisico  $L$  en relatief massaverschil  $\mu$  is van de vorm  $e^{b\mu}$ ; in *Afbeelding 5.3* is de coëfficiënt  $b$  dus de helling van de rechte lijnen. Coëfficiënt  $b$  is te berekenen uit het gemiddelde van de relatief-massaverschilverdelingen van letselslachtoffers,  $\mu_{letsel}$  en de standaarddeviatie van de relatief-massaverschilverdelingen van alle bestuurders en van die van letselslachtoffers,  $\sigma$  (zie *Vergelijking B2.5*). De berekende waarden voor de coëfficiënt  $b$  zijn -4,87 voor verkeersdoden, -2,40 voor ziekenhuisopnamen en -1,60 voor lichtgewonden. Bij een relatief massaverschil van -0,1 (bijvoorbeeld bij een eigen massa van 900 kg en een massa van de tegenpartij van 1.100 kg) is het overlijdensrisico een factor 1,6 ( $e^{-0,1 \cdot -4,87}$ ) hoger dan bij een relatief massaverschil van 0 (gelijke massa). Voor het risico op ziekenhuisopname is dat een factor 1,3 ( $e^{-0,1 \cdot -2,40}$ ) en voor het risico op licht letsel een factor 1,2 ( $e^{-0,1 \cdot -1,60}$ ).

#### 5.4. Voorbeeld van de gevolgen voor het individu

De gevolgen van de massa-afhankelijkheid van het letselrisico worden besproken aan de hand van twee extreme voorbeelden binnen het personenautopark, namelijk een auto van circa 800 kg met het daarbij behorende aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten (zie *Tabel 5.2* voor enkele veel voorkomende voorbeelden) en een auto van circa 2.100 kg met het daarbij behorende aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten (zie *Tabel 5.3* voor enkele veel voorkomende voorbeelden). De overlijdens- en letselrisico's van bestuurders in deze twee typen auto's bij een botsing met een auto met gemiddelde massa (1.079 kg) worden berekend en vergeleken met die van bestuurders in een botsing tussen twee auto's met gemiddelde massa.

Merk en type	Massa (kg)	Park september 2007
Ford Fiesta	803	113.300
Fiat Punto	832	91.800
Suzuki Alto	775	87.500
Renault Twingo	795	82.400
Nissan Micra	780	82.000
Peugeot 106	790	73.300

Tabel 5.2. *Massa en aantal personenauto's in het park in Nederland in september 2007 van enkele veel voorkomende typen lichte auto's (RDC automotive, 2008).*

Merk en type	Massa (kg)	Park september 2007
Mercedes M-klasse	2.100	7.900
Volvo XC90	2.050	7.100
BMW X5	2.070	7.000
Chrysler Grand Voyager	2.050	6.300
Volkswagen Touareg	2.287	3.300

Tabel 5.3. *Massa en aantal personenauto's in het park in Nederland in september 2007 van veel voorkomende typen zware auto's (RDC automotive, 2008).*

Hieronder wordt berekend hoeveel keer zo groot het overlijdensrisico is van een bestuurder van een lichte auto (800 kg) wanneer hij of zij een aanrijding krijgt met een auto met gemiddelde massa dan wanneer een bestuurder van een auto met gemiddelde massa botst met een andere auto met gemiddelde massa. Eerst wordt het relatief massaverschil tussen de auto van 800 kg en de auto met gemiddelde massa berekend:

$$\mu = \frac{800 - 1079}{800 + 1079} = -0,15$$

Het relatief massaverschil tussen twee auto's met gemiddelde massa is nul.

Vervolgens wordt het overlijdensrisico bepaald. Het overlijdensrisico  $L$  is (zie *Bijlage 2*):

$$L = C_3 \cdot \text{Exp}(b \cdot \mu)$$

De coëfficiënt  $b$  is  $-4,87$  (*Paragraaf 5.3*). Bij een relatief massaverschil van  $-0,15$  is het risico op overlijden 2,06 maal zo hoog als bij een relatief massaverschil van nul:

$$\frac{C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot (-0,15)}}{C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot 0}} = 2,06$$

Dus rijden in een kleine auto met het daarbij behorende lage aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten in plaats van in een gemiddelde auto geeft een ruim twee maal zo hoog risico om te overlijden bij een aanrijding met een auto met een gemiddelde massa. Deze berekening is ook gedaan voor de zware auto (2.100 kg) met een daarbij behorend hoog aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten. Het relatief massaverschil  $\mu$  tussen de zware auto en een gemiddelde auto is  $0,32$ . Bij deze waarde is het overlijdensrisico ongeveer een vijfde van het overlijdensrisico bij een relatief massaverschil van nul.

Behalve naar de gevolgen voor de bestuurder kan ook naar de gevolgen voor de tegenpartij worden gekeken. Het risico dat de bestuurder van een gemiddelde auto door een lichte auto (800 kg) wordt doodgereden wordt vergeleken met het risico dat hij of zij wordt doodgereden door een gemiddelde auto. De berekening hiervoor gaat als volgt. Voor de bepaling van het relatief massaverschil wordt de gemiddelde automassa als massa van de eigen auto genomen en de massa van de lichte auto (800 kg) als massa van de tegenpartij:

$$\mu = \frac{1079 - 800}{1079 + 800} = 0,15$$

Bij deze waarde is het overlijdensrisico 0,49 maal zo hoog als bij een relatief massaverschil van nul:

$$\frac{C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot 0,15}}{C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot 0}} = 0,49$$

Dus het overlijdensrisico neemt af tot ongeveer de helft wanneer een bestuurder in een auto met gemiddelde massa en een daarbij behorend gemiddeld aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten een aanrijding heeft met een kleine auto in plaats van met een gemiddelde auto. Deze berekening is ook gedaan voor de zware auto (2.100 kg) als tegenpartij. Het relatief massaverschil is dan -0,32. Bij deze waarde is het overlijdensrisico bijna vijf keer zo groot als dat bij een relatief massaverschil van nul.

Bovenstaande berekeningen zijn ook uitgevoerd voor het risico op ziekenhuisopname en op licht letsel. De verhogingsfactoren van de risico's zijn te zien in *Tabel 5.4*. Een verhogingsfactor kleiner dan 1 is een verlaging. De verhogingsfactoren liggen dicht bij 1 voor het risico op ziekenhuisopname en op licht letsel, omdat deze minder sterk van het relatief massaverschil afhangen.

		Verhogingsfactor van risico op		
		Overlijden	Ziekenhuisopname	Licht letsel
Bestuurder van een auto met massa	800 kg	2,06	1,43	1,27
	2.100 kg	0,23	0,46	0,60
Tegenpartij van een auto met massa	800 kg	0,49	0,70	0,79
	2.100 kg	4,78	2,16	1,67

*Tabel 5.4. De verhogingsfactoren van het risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel als bestuurder van een lichte auto (800 kg) en een zware auto (2.100 kg) ten opzichte van bestuurders in auto's met een gemiddelde massa, bij een botsing met een auto met gemiddelde massa. Ook de verhogingsfactoren van het risico van de tegenpartij (in de auto met gemiddelde massa) van de lichte en zware auto ten opzichte van het risico in een botsing met een andere gemiddelde auto zijn gegeven.*

Een botsing tussen een lichte auto van 800 kg en een gemiddelde auto levert een hoger letselrisico in de lichte auto op:

$$L_{lichte\ auto} = C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot -0,15} = C_3 \cdot 2,06$$

Daar staat een lager letselrisico in de andere auto tegenover:

$$L_{gemiddelde\ auto} = C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot 0,15} = C_3 \cdot 0,49$$

Deze twee heffen elkaar echter niet op. Het risico dat één van beide bestuurders overlijdt in een botsing tussen deze twee auto's is de som van beide letselrisico's:

$$L_{totaal\ lichte,\ gemiddelde} = L_{lichte\ auto} + L_{gemiddelde\ auto} = C_3 \cdot 2,55$$

Het risico dat één van beide bestuurders overlijdt in een botsing tussen twee auto's met gelijke massa is echter lager:

$$L_{totaal\ gemiddelde,\ gemiddelde} = L_{gelijke\ auto} + L_{gelijke\ auto} = 2 \cdot C_3 \cdot e^{-4,87 \cdot 0} = 2 \cdot C_3$$

Dus wanneer een lichte auto van 800 kg botst met een auto met een gemiddelde massa (1.079 kg) is er een 1,27 ( $=2,55/2$ ) keer zo groot risico dat een van beide bestuurders overlijdt dan wanneer er twee auto's met dezelfde massa botsen. Spreiding in massa en de daarbij behorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten is dus slecht voor de verkeersveiligheid. Het probleem van de verschillen in massa is bekend, maar heeft nog niet geleid tot effectieve maatregelen in de personenauto-industrie (Van Kampen et al., 2005).

Concluderend voor individuele weggebruikers, maakt het dus veel uit of zij in een lichte of zware auto rijden. Bestuurders in een lichte auto van circa 800 kg met het daarbij behorende lage aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten hebben ongeveer een tweemaal zo groot risico om te overlijden in een botsing met een auto met gemiddelde massa (1.079 kg) en het daarbij behorende gemiddelde aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten dan bestuurders in een gemiddelde auto. Het risico dat zij dan de bestuurder van de tegenpartij doodrijden is de helft van het risico bij een botsing tussen twee auto's met een gemiddelde massa. Bestuurders van zeer zware auto's (circa 2.100 kg) met het daarbij behorende hoge aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten zitten zeer veilig in hun auto. Het risico om te overlijden bij een aanrijding met een auto met gemiddelde massa is een vijfde van het risico dat twee bestuurders in auto's met gemiddelde massa lopen bij een aanrijding. Helaas hebben bestuurders van zeer zware auto's dan wel een vijf maal zo groot risico om de bestuurder van de tegenpartij dood te rijden. Bij een botsing tussen twee personenauto's met verschillende massa en verschillende aanwezigheidsniveaus van secundaire-veiligheidscomponenten is het risico groter dat er een bestuurder overlijdt dan bij een botsing tussen twee auto's met gelijke massa.

## 5.5. Aantal letselslachtoffers onder bestuurders verklaard door massaverschillen

In de vorige paragraaf is aangetoond dat er grote verschillen zijn in het overlijdensrisico voor individuen, maar wat zijn de gevolgen voor de totale populatie? Meer spreiding in massa leidt tot meer verkeersdoden en letselslachtoffers (Van Kampen et al., 2005). In deze paragraaf wordt gekwantificeerd welk aandeel van de letsels en doden onder bestuurders bij auto-auto-ongevallen kan worden toegeschreven aan de massaverschillen en de daarbij behorende verschillen in de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten binnen het park.

Het verwachte aantal slachtoffers onder bestuurders wanneer er geen massaverschillen zouden zijn is berekend door het aantal bestuurders betrokken bij een auto-auto-ongeval te vermenigvuldigen met het letselrisico  $L$  bij een relatief massaverschil van nul ( $\mu = 0$ ). Dit noemen we  $L(0)$ . Tabel 5.5 geeft de geregistreerde aantallen slachtoffers en de verwachte aantallen slachtoffers op basis van de aanname dat er geen massaverschillen zijn. Het verschil tussen deze aantallen levert de letsels die door massaverschillen verklaard worden.

Slechts driekwart van de doden onder bestuurders in auto-auto-ongevallen zou gevallen zijn, als alle personenauto's even zwaar waren geweest en dezelfde secundaire-veiligheidsvoorzieningen hadden gehad. In 2006 zouden er dan 10 minder doden zijn gevallen (25,3% van het werkelijke

aantal verkeersdoden, 40, zie *Paragraaf 3.3*). Daarnaast zouden er ook minder doden onder passagiers zijn gevallen, maar dat kon niet berekend worden omdat het letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$ , voor passagiers onbekend is. Er is een groot verschil in letselrisico tussen voor- en achterinzittenden van personenauto's en er zijn zelfs verschillen in letselrisico tussen de linker- en de rechterkant van de auto.

	Aantal slachtoffers		
	Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
Geregistreerd	234	5.137	16.228
Verwachting	175	4.786	15.723
Vershil	-25,3%	-6,8%	-3,1%

Tabel 5.5. *Het verwachte aantal slachtoffers onder bestuurders in auto-auto-ongevallen in de periode 2001-2006 wanneer er tussen beide auto's geen massaverschillen zouden zijn en geen verschillen in de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten, vergeleken met het geregistreerde aantal in dezelfde periode.*

## 5.6. Prognoses

De spreiding in de massa van het park groeit. Een blijvende groei in spreiding is echter niet zeker. Wanneer de ontwikkeling in Europa vergelijkbaar is met die in de Verenigde Staten, dan zullen kleinere en zuiniger auto's eerder de trend zijn. Stel dat de spreiding wel blijft toenemen zoals nu het geval is, dan veroorzaakt deze toename extra slachtoffers. In deze paragraaf worden deze extra slachtoffers onder bestuurders in 2010 en 2020 gekwantificeerd.

Tabel 5.6 toont de toenemende standaarddeviatie van het relatief massaverschil per jaar voor de jaren 2001-2006. Doordat de relatieve spreiding van de massa ( $= \sigma_m / \bar{m}$ ) elk jaar toeneemt (zie *Paragraaf 4.1*), neemt ook de standaarddeviatie van het relatief massaverschil toe. De cijfers in de tabel laten dit zien. De spreiding in het relatief massaverschil neemt gemiddeld ieder jaar met 0,0012 toe.

Jaar	Standaarddeviatie van $\mu$
2001	0,1533
2002	0,1548
2003	0,1544
2004	0,1565
2005	0,1582
2006	0,1592

Tabel 5.6. *Ontwikkeling van de spreiding in de relatieve massaverschil van auto's betrokken in auto-auto-ongevallen (bron: BRON-Ministerie van VenW).*

De prognoses zijn gedaan voor gelijkblijvende groei in de spreiding van de automassa, daarom is ervan uitgegaan dat de spreiding in het relatief massaverschil lineair blijft toenemen. Om uitsluitend het effect op het aantal extra slachtoffers door toename in de spreiding van de massa te bepalen, zijn parkgrootte, mobiliteit, ongevalsrisico en letselrisico constant gehouden. *Bijlage 3* beschrijft hoe de prognoses op basis van de toegenomen spreiding in het relatief massaverschil berekend zijn.

*Tabel 5.7* toont de prognoses voor de jaren 2010 en 2020 van de spreiding in het relatief massaverschil en de verwachte aantallen doden, ziekenhuisopnamen en lichtgewonden onder bestuurders. De verwachting is dat er in 2010 één extra dode valt te betreuren als de spreiding in automassa op dezelfde manier blijft groeien, en in 2020 drie. Voor de ziekenhuisopnamen verwachten we dan vijf extra slachtoffers in 2010 en 21 in 2020. Daarnaast zullen er in 2010 en 2020 ook meer slachtoffers onder passagiers vallen, als de spreiding in de relatieve massaverdeling lineair blijft toenemen. Deze aantallen kunnen niet berekend worden.

Jaar	Standaarddeviatie van $\mu$	Prognoses aantallen slachtoffers		
		Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
2006	0,158	40	1.326	11.736
2010	0,162	41	1.331	11.755
2020	0,174	43	1.347	11.816

*Tabel 5.7. Prognoses voor de spreiding in het relatief massaverschil en het op basis van het toenemend relatief massaverschil verwachte aantal doden, ziekenhuisopnamen en lichtgewonden.*

## 5.7. Vergelijking met de literatuur

In deze paragraaf vergelijken we de gevonden relatie tussen het absoluut letselrisico en het relatief massaverschil (*Paragraaf 5.3*) met wat er over de kwantitatieve relatie tussen (relatief) letselrisico en massa gevonden is in de literatuur (*Paragraaf 2.3*). *Bijlage 4* geeft weer hoe uit de relatief-massaverschilverdeling voor letselongevallen het relatief letselrisico wordt bepaald. Daaruit volgt hoe de in de literatuur gebruikte parameter  $u$  benaderd kan worden uit het gemiddelde en de breedte van de relatief-massaverschilverdeling van letselongevallen.

De parameter  $u$  is voor de Nederlandse data bepaald voor drie maten van letselernst, zie *Tabel 5.8*. De waarden voor een dodelijke afloop ( $u = 4,9$ ) en ziekenhuisopname ( $u = 2,4$ ) zijn hoger dan de in de literatuur gevonden waarden, namelijk 2,70 tot 3,74 voor dood en 1,51 tot 1,99 voor ziekenhuisopname (zie *Paragraaf 2.3*). Voor de Nederlandse data in de jaren 2001-2006 is het relatief letselrisico dus sterker afhankelijk van de massa-verhouding dan voor buitenlandse data in de jaren tachtig en negentig.



Letselernst	Parameter $u$
Dood	4,9
Ziekenhuisopname	2,4
Lichtgewond	1,6

Tabel 5.8. De parameter  $u$ , die weergeeft in welke mate het relatief letselrisico afhangt van de massaverhouding, voor de drie letselernsten.

## 5.8. Conclusies

De relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen tussen 2001 en 2006 is bepaald. Ook zijn de relatief-massaverschilverdelingen bepaald voor doden, ziekenhuisopnamen en lichtgewonden onder bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen. De relatief-massaverschilverdelingen zijn normaal verdeeld en hebben allemaal een spreiding  $\sigma$  van ongeveer 0,156. Het gemiddelde van de verdelingen neemt af met toenemende letselernst. De letselernst neemt gemiddeld dus toe met het verschil tussen de massa van het slachtoffer en de tegenpartij.

Het letselrisico als functie van het relatief massaverschil (en het daarbij behorende verschil in secundaire veiligheid) is bepaald voor drie maten van letselernst. Dit zijn exponentieel dalende functies met een coëfficiënt  $b$  van -4,87 voor het overlijdensrisico, -2,40 voor het risico op ziekenhuisopname en -1,60 voor het risico om lichtgewond te raken. Hieruit blijkt dat het overlijdensrisico sterker afhangt van het relatief massaverschil  $\mu$  dan het risico op ziekenhuisopname of op licht letsel. De gevonden effecten van verschillen in massa (coëfficiënt  $b$ ) zijn misschien niet volledig toe te schrijven aan deze massaverschillen, maar misschien ook deels aan de verschillen in aanwezigheid van secundaire-veiligheidsvoorzieningen.

Deze afhankelijkheden van het relatief massaverschil en het daarbij behorende verschil in secundaire veiligheid hebben grote gevolgen voor individuen. Een bestuurder van een lichte auto van circa 800 kg heeft een tweemaal zo groot overlijdensrisico bij een aanrijding met een auto met een gemiddelde massa (1.079 kg) als een bestuurder van een auto met gemiddelde massa, terwijl het risico dat hij of zij dan de bestuurder van de tegenpartij doodrijdt slechts de helft is. Voor een bestuurder van een zeer zware auto (circa 2.100 kg) zijn deze risico's respectievelijk een vijfde van en vijfmaal het risico van een bestuurder in een auto met een gemiddelde massa.

Ook voor de algehele verkeersveiligheid hebben de massaverschillen grote gevolgen. Een kwart van de doden onder bestuurders in auto-auto-ongevallen zou voorkomen kunnen worden, wanneer alle massa's en secundaire-veiligheidsniveaus van personenauto's gelijk zouden zijn. Daarnaast zouden er dan ook minder slachtoffers onder passagiers vallen.

De verwachting is dat er in 2010 onder autobestuurders één extra dode valt te betreuren en vijf extra ziekenhuisopnamen wanneer de spreiding in automassa op dezelfde wijze als nu blijft groeien. In 2020 zouden er dan drie extra doden zijn en 21 extra ziekenhuisopnamen. Daarnaast zullen er dan in 2010 en 2020 ook meer slachtoffers onder passagiers vallen.

Het *relatief* letselrisico is sterker afhankelijk van de massaverhouding voor de Nederlandse data in de periode 2001-2006 dan voor buitenlandse data in de jaren tachtig en negentig. Een mogelijke verklaring is dat de invloed van het massaverschil in de loop der jaren is toegenomen doordat er steeds meer secundaire-veiligheidsvoorzieningen aanwezig zijn in zwaardere auto's, terwijl deze nog niet aanwezig zijn in de lichtere auto's. Hier wordt verder op ingegaan in het volgende hoofdstuk.

## 6. Secundaire-veiligheidsvoorzieningen en automassa

Onder secundaire-veiligheidscomponenten worden onder andere airbags, zijairbags, gordelspanners, gordelverklidders (zodat inzittenden vaker een gordel dragen) en een stijvere structuur van de auto verstaan. Een hoge massa en de aanwezigheid van secundaire-veiligheidsvoorzieningen gaan vaak samen, omdat deze meestal auto's in het duurdere segment betreffen. Er zijn natuurlijk uitzonderingen hierop van kleine auto's die wel veel secundaire-veiligheidsvoorzieningen hebben.

De in *Hoofdstuk 5* gevonden invloed van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico is mogelijk overschat, doordat secundaire-veiligheidscomponenten gemiddeld genomen meer aanwezig zijn in zwaardere auto's dan in lichtere auto's. Van de personenauto's in de ongevallendatabase is niet bekend welke secundaire-veiligheidscomponenten ze hebben. Het is daarom niet mogelijk om het effect van het relatief massaverschil en het effect van secundaire-veiligheidscomponenten te onderscheiden in dit onderzoek. Toch kan een indruk worden verkregen van de invloed van secundaire-veiligheidscomponenten, door de invloed van automassa op het absoluut letselrisico te onderzoeken. De gemiddelde aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten is namelijk gerelateerd aan de gemiddelde massa. Hoe deze relatie precies is, is niet bekend. Wel is duidelijk dat zwaardere auto's gemiddeld genomen meer secundaire-veiligheidsvoorzieningen hebben. Daarom wordt in dit hoofdstuk de invloed van automassa op het absoluut letselrisico onderzocht.

Het doel van dit hoofdstuk is om de invloeden van automassa en van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico uit elkaar te halen, zodat bepaald kan worden welk deel van de in *Hoofdstuk 5* gevonden invloed van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico verklaard kan worden door secundaire-veiligheidscomponenten.

Als eerste is nagegaan of het letselrisico bij een botsing tussen twee zware auto's met een bepaald relatief massaverschil inderdaad lager is dan bij een botsing tussen twee lichte auto's met datzelfde relatieve massaverschil. Daarvoor is het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L(\mu)$ , bepaald voor drie verschillende even grote massaklassen. Deze zijn onderling vergeleken.

Vervolgens is het effect van automassa gekwantificeerd. De effecten van de automassa en van het relatief massaverschil zijn niet onafhankelijk. Dit probleem wordt omzeild door alleen te kijken naar de wijze waarop de absolute letselrisico's afhangen van  $m$  bij een relatief massaverschil van nul,  $L(0, m)$ . Hiermee wordt het effect van automassa – en dus secundaire-veiligheidsvoorzieningen – op het absoluut letselrisico bij botsingen tussen twee even zware auto's bepaald.

Ten slotte is het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil gecorrigeerd voor dit effect van massa. Hiermee is bepaald welk deel van het *Hoofdstuk 5* gevonden invloed van het relatief massaverschil

op het absoluut letselrisico wordt verklaard door het aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten.

### 6.1. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil voor drie massaklassen

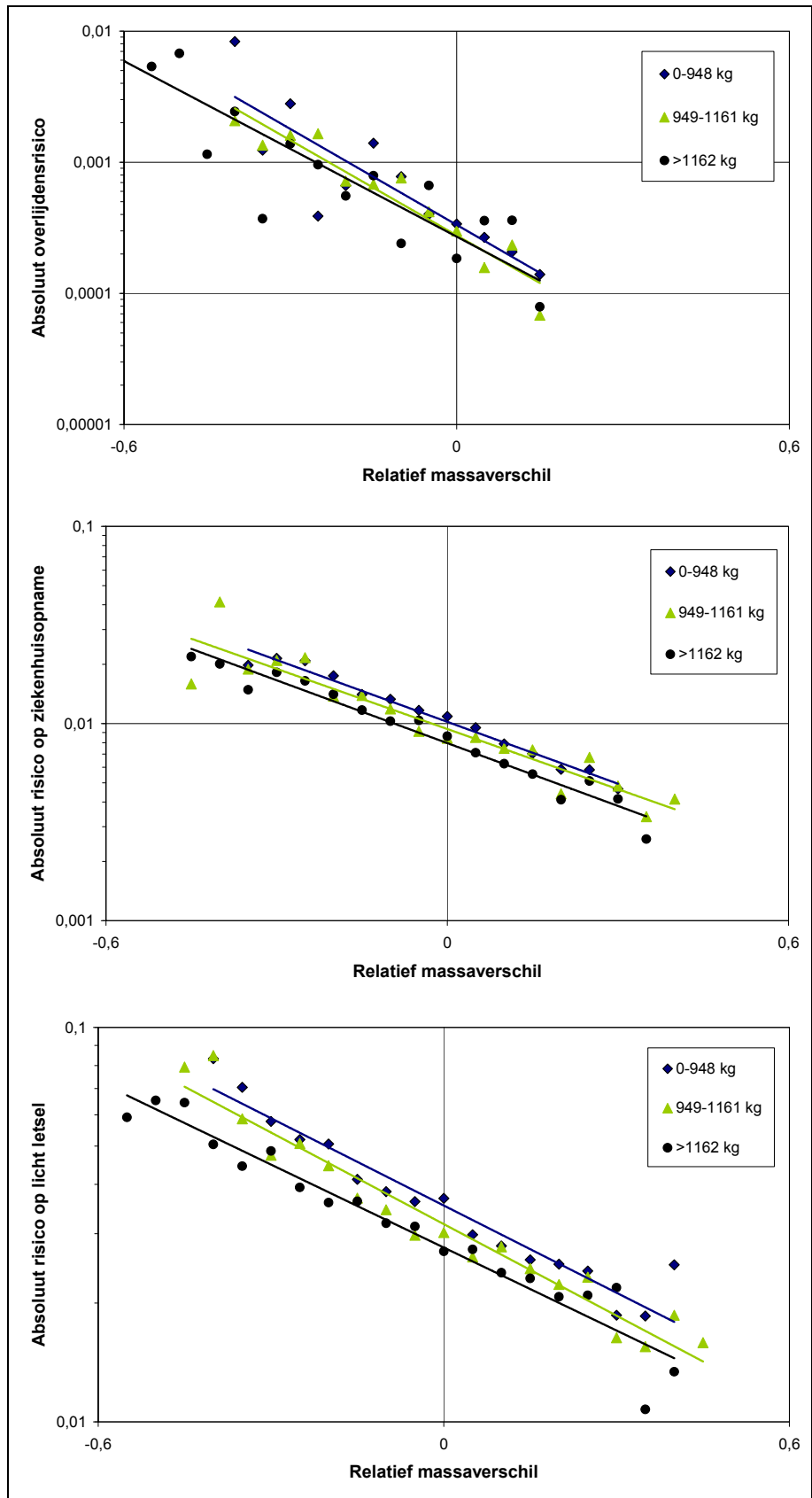
Het absoluut letselrisico is bepaald voor drie massaklassen. Alle personenauto's betrokken bij een botsing tussen twee personenauto's in de onderzochte periode van 2001-2006 (510.946 stuks) zijn opgedeeld in drie ongeveer even grote massaklassen van ongeveer 85.000 auto's. Er is gekozen voor drie even grote massaklassen, omdat er anders te weinig data waren om de analyse uit te voeren. De massaklassen lopen van 0-948 kg, 949-1.161 kg en 1.162 kg en hoger.

De berekening van  $L(\mu)$  gaat hetzelfde als in *Hoofdstuk 5*, maar nu worden de gedisaggregeerde relatief-massaverschilverdelingen gebruikt. Bijvoorbeeld het absoluut risico op ziekenhuisopname voor bestuurders van auto's van 948 kg en lichter,  $L_{zh\_0-948kg}$ , is de relatief-massaverschilverdeling voor bestuurders van auto's van 948 kg en lichter die betrokken waren bij een auto-auto-ongeval en die opgenomen zijn in het ziekenhuis,  $RMVV_{zh\_0-948kg}$ , gedeeld door de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders van auto's van 948 kg en lichter die betrokken waren bij een auto-auto-ongeval,  $RMVV_{alle\_0-948kg}$ :

$$L_{\text{ziekenhuisopname } 0-948kg}(\mu) = \frac{RMVV_{\text{ziekenhuisopname } 0-948kg}(\mu)}{RMVV_{\text{alle } 0-948kg}(\mu)}$$

Op deze wijze zijn de absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel bepaald voor de drie massaklassen.

De resultaten zijn te zien in *Afbeelding 6.1*. Voor iedere massaklasse en letselernst zien we een exponentiële afname van het absoluut letselrisico met een groter relatief massaverschil (dat wil zeggen een zwaardere auto van de bestuurder ten opzichte van de automassa van de tegenpartij). De exponentiële afname is even groot voor de verschillende massaklassen, want de lijnen lopen min of meer parallel. De grootte van het absoluut letselrisico is verschillend voor de massaklassen, want de asafsnedes zijn verschillend. De asafsnede,  $L(0)$ , is de waarde van het absoluut risico bij een botsing tussen twee even zware auto's. Er is dus een effect van automassa op het absoluut letselrisico. Het absoluut letselrisico neemt af met toenemende automassa, omdat de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten gerelateerd is aan de automassa. Wanneer twee even zware auto's met een hoge massa (> 1162 kg) botsen zijn de risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel lager dan wanneer twee even zware auto's tussen de 949-1161 kg botsen. De risico's zijn nog hoger voor auto's van 948 kg en minder.



Afbeelding 6.1. Het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil voor drie maten van letselernst en drie automassaklassen. Merk op dat de verticale assen een logaritmische schaal hebben.

Tabel 6.1 toont de absolute letselrisico's voor botsingen tussen twee even zware auto's,  $L(0)$ , per massaklasse.  $L(0)$  neemt af met toenemende automassa. Voor alle maten van letselernst is het letselrisico voor de zwaarste massaklasse circa 20% minder dan dat van de lichtste massaklasse. Dit is een aanwijzing dat het effect van massagerelateerde beveiligingsmiddelen hetzelfde is voor de risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel.

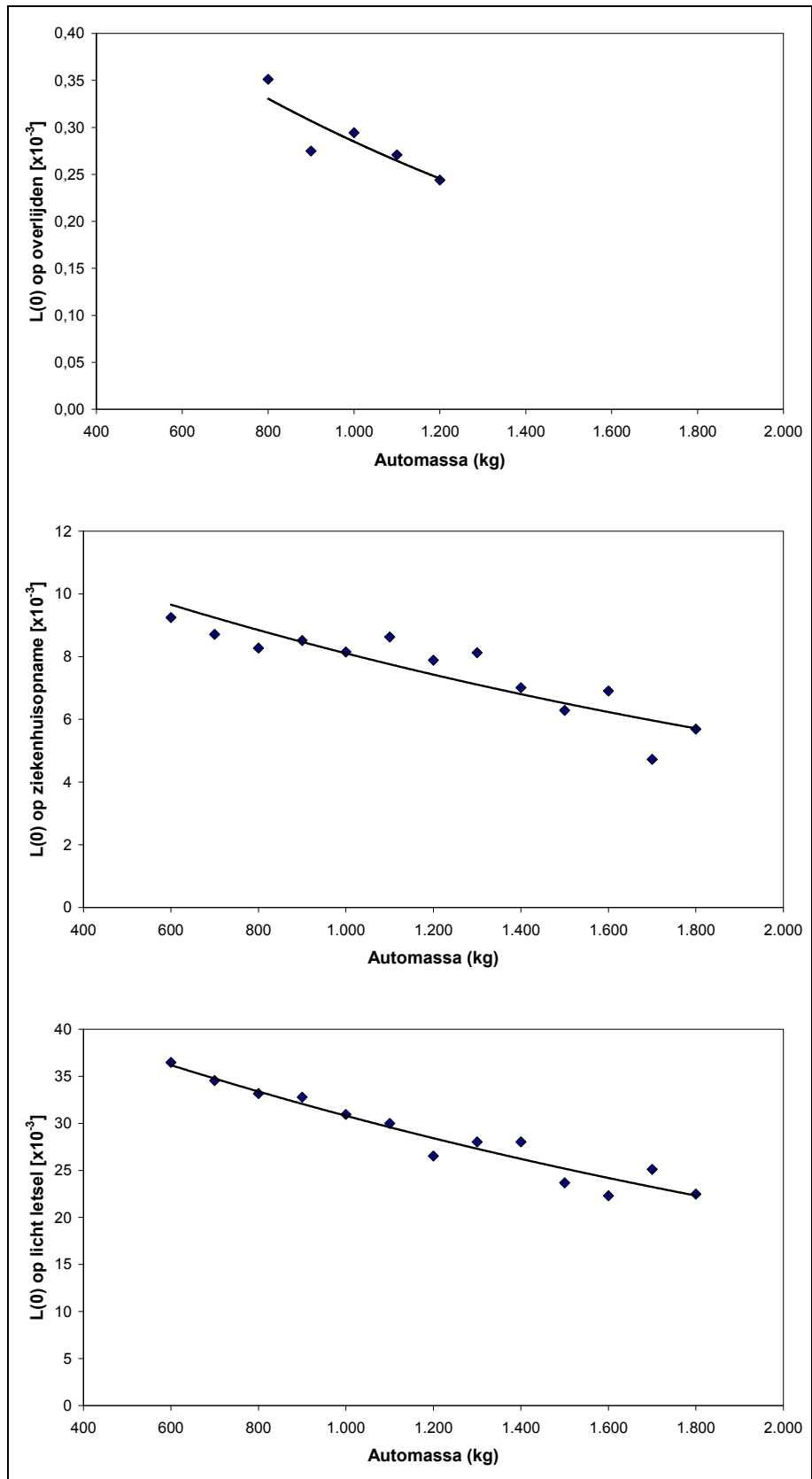
Massaklasse	Letselrisico per (geregistreerd) ongeval met UMS		
	Overlijden	Ziekenhuisopname	Licht letsel
0-948 kg	0,00033	0,0102	0,035
949-1.161 kg	0,00028	0,0094	0,032
> 1.162 kg	0,00027	0,0078	0,028

Tabel 6.1. De absolute letselrisico's voor botsingen tussen twee even zware auto's,  $L(0)$ , voor drie maten van letselernst en drie massaklassen.

## 6.2. Kwantitatief effect van automassa

In deze paragraaf wordt het effect van automassa en bijbehorend beveiligingsniveau gekwantificeerd, zoals omschreven staat in *Paragraaf 3.4.5*. De data zijn opgedeeld in kleinere massaklassen. Hiervoor is de standaard massaverdeling van bestuurders betrokken bij ongevallen gebruikt, zie *Afbeelding 4.3*. De absolute letselrisico's bij een relatief massaverschil van nul,  $L(0)$ , zijn op dezelfde wijze bepaald als in *Paragraaf 6.1*. Door de kleinere massaklassen zijn de data meer verstrooid. Toch is het goed mogelijk om de asafsnedes  $L(0)$  te bepalen.

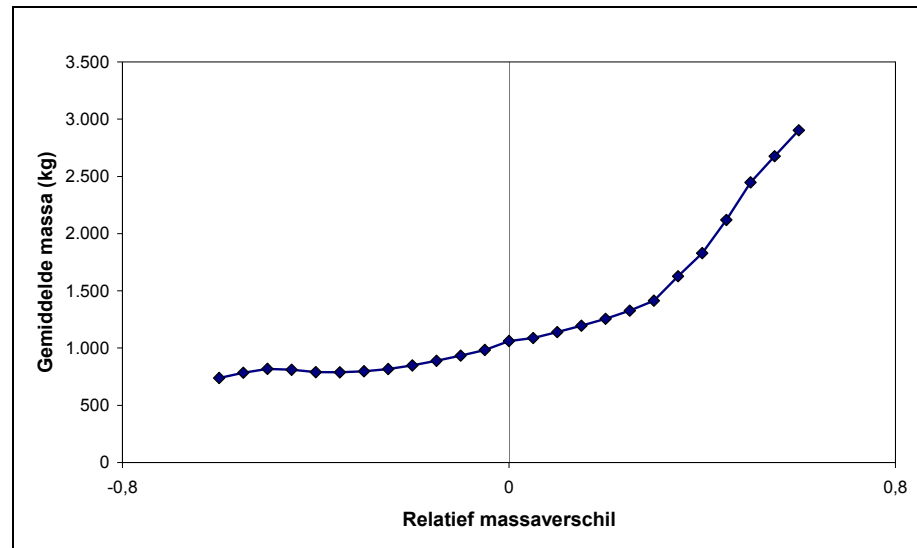
De asafsnedes als functie van de automassa zijn te zien in *Afbeelding 6.2* voor de drie maten van letselernst. Deze functies nemen af. Er zijn exponentiële functies gefit, waaruit blijkt dat voor iedere mate van letselernst de exponentiële afname gelijk is (de exponent  $b = -0,00043$ ). Dat wil zeggen dat gemiddeld genomen voor iedere kilogram die een auto zwaarder is de bijbehorende gemiddelde extra secundaire-veiligheidscomponenten ervoor zorgen dat de letselrisico's met 0,00043 afnemen. Daardoor heeft een bestuurder van een 600 kg zware auto bij een botsing met een even zware auto vanwege de daarbij behorende aanwezigheidsniveaus van secundaire-veiligheidscomponenten een tweemaal zo groot risico op zowel overlijden als ziekenhuisopname en licht letsel als een bestuurder van een 2.200 kg zware auto die ook botst met een even zware tegenpartij.



Afbeelding 6.2. De absolute letselrisico's voor botsingen tussen twee even zware auto's,  $L(\mu=0,m)$ , als functie van de automassa voor drie maten van letselernst.

### 6.3. Absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil gecorrigeerd voor de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten

In deze paragraaf wordt nagegaan hoe de massa (en daarmee het beveiligingsniveau) van invloed is op de absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil. De gemiddelde massa's die bij een bepaald relatief massaverschil horen zijn niet gelijk, maar nemen toe met het relatief massaverschil. Het verwachte letselrisico neemt dus als gevolg van het toenemend beveiligingsniveau af, met toenemende  $\mu$ . De gemiddelde massa als functie van het relatief massaverschil is te zien in *Afbeelding 6.3*.



Afbeelding 6.3. De gemiddelde massa als functie van het relatief massaverschil.

Met behulp van bovenstaande relatie tussen de gemiddelde massa en het relatief massaverschil, en met het in *Paragraaf 6.2* gevonden effect van massa, zijn de gecorrigeerde absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil bepaald. De gecorrigeerde absolute letselrisico's zijn de absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil waarbij er geen afhankelijkheid is van het aanwezigheidsniveau van secundaire-veiligheidscomponenten. Daarvoor is namelijk gecorrigeerd.

De correctie van de absolute letselrisico's gaat als volgt. Voor iedere relatieve massaverschilklasse is er een gemiddelde massa bepaald (*Afbeelding 6.3*). Met behulp van deze gemiddelde massa,  $\bar{m}(\mu)$ , en het in *Paragraaf 6.2* gevonden effect van massa wordt een correctiefactor,  $c(\mu)$ , berekend voor iedere relatieve massaverschilklasse:

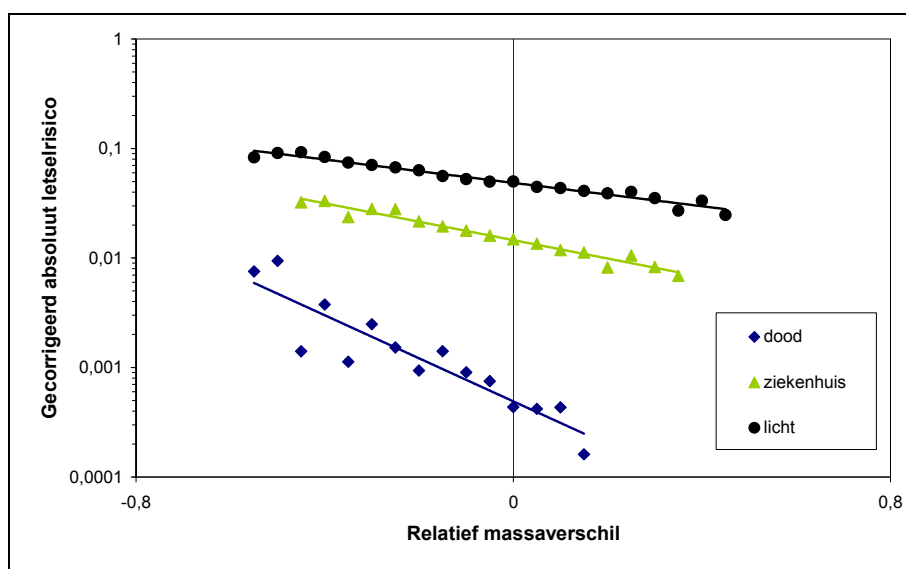
$$c(\mu) = e^{-0,00043 \cdot \bar{m}(\mu)}$$

Naarmate  $\mu$  toeneemt, neemt het waargenomen letselrisico dus niet alleen af vanwege het steeds voordeliger effect van massaverschillen tussen twee betrokken auto's, maar ook door het extra effect  $c(\mu)$ . Wanneer we willen weten wat het effect van uitsluitend de massaverschillen zijn, moeten we de in *Paragraaf 5.3* gevonden absolute letselrisico's delen door  $c(\mu)$ . Dat geeft



de gecorrigeerde absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil, dus zónder het effect van massa/beveiligingsniveau.

Evenals de ongecorrigeerde letselrisico's (*Afbeelding 5.3*), zijn ook de gecorrigeerde letsel- en overlijdensrisico's exponentieel dalende functies van het relatief massaverschil, zoals te zien is in *Afbeelding 6.4*. De exponentiële dalingen zijn gefit in Excel. De gevonden waarden voor de coëfficiënt  $b$  zijn -4,53 voor verkeersdoden, -1,93 voor ziekenhuisopnamen en -1,23 voor lichtgewonden. De verschillen met de coëfficiënten,  $b$ , voor de ongecorrigeerde absolute letselrisico's (-4,87 voor verkeersdoden, -2,40 voor ziekenhuisopnamen en -1,60 voor lichtgewonden) zijn klein in vergelijking met de coëfficiënten zelf, namelijk ongeveer 0,4. Dus voor het risico op licht letsel geldt dat ongeveer een kwart van het effect van het relatief massaverschil en het daarbij behorende niveau van secundaire-veiligheidscomponenten, wordt veroorzaakt door de verschillen in de aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten. De overige driekwart is echt een effect van de verschillen in massa. Voor de risico's op ziekenhuisopname en op overlijden wordt een nog kleiner aandeel van het effect verklaard door secundaire-veiligheidscomponenten, namelijk respectievelijk een vijfde en minder dan een tiende.



Afbeelding 6.4. Het gecorrigeerde absoluut letselrisico voor drie maten van letselernst. Merk op dat de verticale as een logaritmische schaal heeft.

#### 6.4. Conclusies

Slechts een klein deel, minder dan een tiende, van de in *Hoofdstuk 5* gevonden invloed van het relatief massaverschil op het absoluut overlijdensrisico kan verklaard worden door secundaire-veiligheidscomponenten. Voor het absoluut risico op ziekenhuisopname en op licht letsel zijn deze aandelen wat groter, namelijk een vijfde en een vierde, maar nog steeds relatief klein. In de rest van het rapport zullen daarom de effecten van automassa – en daarmee secundaire-veiligheidscomponenten – niet apart meegenomen worden.

## 7. Absoluut letselrisico naar geslacht en leeftijdscategorie bestuurder

Er zijn verschillende groepen in de samenleving, die vaker dan gemiddeld in kleine lichte auto's rijden. In *Hoofdstuk 4* bleken vrouwen, jongeren en ouderen in lichtere auto's te rijden dan gemiddeld. Het zou kunnen dat deze groepen daardoor een hoger letselrisico hebben dan gemiddeld. In dit hoofdstuk gaan we na hoe vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders in de ongevallenstatistiek voorkomen, en worden de absolute letselrisico's, *L* voor deze groepen bepaald.

In verschillende studies is aangetoond dat vrouwelijke bestuurders vaker letsel hebben dan mannelijke bestuurders. In België raken vrouwen bijna tweemaal zo vaak lichtgewond en iets meer dan tweemaal zo vaak zwaargewond dan mannen, wanneer ze betrokken zijn bij een ongeval (De Brabander, 2005). Voor ongevallen in de Verenigde Staten met 15-45-jarige bestuurders, geldt dat vrouwelijke bestuurders bij een botsing met dezelfde impact (botsingen waarbij dezelfde krachten worden uitgeoefend op het lichaam van de bestuurder) een 25% groter risico lopen om te overlijden dan mannelijke bestuurders (Evans, 1991). Vrouwelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen in Australië lopen een 6% groter risico om zwaargewond te raken en een 14% groter risico om te overlijden dan mannelijke bestuurders in eenzelfde type ongeval (O'Donnell & Connor, 1996). Dezelfde resultaten zijn gevonden voor de Verenigde Staten (Kockelman & Kweon, 2002).

Ook is het bekend dat ouderen kwetsbaarder zijn dan overige volwassenen. In Nederland is het overlijdensrisico voor 65-plussers in het verkeer ruim viermaal zo hoog als gemiddeld (Koornstra, 1999). Het overlijdensrisico voor auto-inzittenden in de Verenigde Staten neemt voor ieder jaar dat iemand ouder wordt met circa 2% toe (Evans, 1991). In België is aangetoond dat oudere bestuurders (60+) onder inzittenden van vierwielers een groter risico lopen om letsel op te lopen bij een ongeval. In vergelijking met 30- tot 59-jarigen hebben zij een viermaal zo groot overlijdensrisico, een 2,5 maal zo groot risico om zwaargewond te raken, en een 1,35 maal zo groot risico om lichtgewond te raken (De Brabander, 2005). In een overzichtsartikel van (Mackay, 1988) wordt voor de oudere auto-inzittende (65+) onder meer geconcludeerd dat deze, in vergelijking tot de jongere leeftijdsgroepen, bij een gelijke botsimpact ernstiger letsel oploopt, langer in het ziekenhuis moet verblijven voor eenzelfde letselernst, en dat onder de slachtoffers die een ongeval overleven meer (blijvende) belemmerende letsel voorkomen, vooral aan hoofd en benen. Uit de gegevens uit dit overzichtsartikel kan berekend worden dat 65-plussers een 2,2 maal zo groot overlijdensrisico hebben, een 2 maal zo groot risico hebben om zwaargewond te raken, en een 1,2 maal zo groot risico hebben om lichtgewond te raken dan 25- tot 54-jarigen.

Doel van dit hoofdstuk is om te onderzoeken of ook in Nederland vrouwelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen vaker letsel hebben of overlijden dan mannelijke bestuurders, en of oudere bestuurders ook vaker letsel hebben in auto-auto-ongevallen dan gemiddeld. Daarnaast wordt geverifieerd of jongere bestuurders inderdaad vaker dan gemiddeld betrokken zijn bij een

auto-auto-ongeval in Nederland, en wordt onderzocht of jongere bestuurders geen hoger risico lopen op ernstig letsel of overlijden bij een auto-auto-ongeval. Daarvoor worden de absolute letselrisico's,  $L$  naar geslacht en leeftijdscategorie bepaald.

## 7.1. Geslacht bestuurder

*Tabel 7.1* toont de aantallen slachtoffers onder mannelijke en vrouwelijke bestuurders voor drie maten van letselernst: dodelijke afloop (tweede kolom), ziekenhuisopname (derde kolom) en lichtgewond (vierde kolom) in de periode 2001-2006. Daarnaast worden de aantallen mannelijke en vrouwelijke bestuurders gegeven in alle onderzochte auto-auto-ongevallen (dus inclusief UMS-ongevallen, vijfde kolom). De totalen liggen iets hoger dan de som van de aantallen bij de mannen en de vrouwen, omdat bij een klein aantal bestuurders het geslacht niet geregistreerd is.

Geslacht	Aantal slachtoffers			
	Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond	Alle bestuurders
Mannen	175	2.922	8.848	334.286
Vrouwen	59	2.202	7.320	165.721
Totaal	234	5.137	16.228	510.946

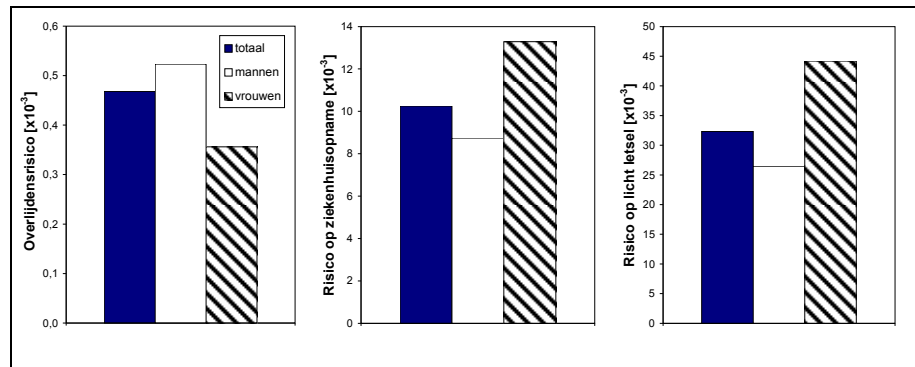
*Tabel 7.1. De aantallen slachtoffers onder bestuurders voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar geslacht, en de aantallen bestuurders in alle auto-auto-ongevallen naar geslacht, in de periode 2001-2006.*

Om te onderzoeken of vrouwelijke bestuurders vaker dan mannelijke bestuurders letsel hebben wanneer zij bij een ongeval betrokken zijn, moet rekening worden gehouden met de betrokkenheid van vrouwelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen. Daarvoor wordt het absoluut letselrisico ( $L$ , zie *Vergelijking 2.1*) bepaald naar geslacht voor de drie maten van letselernst. Bijvoorbeeld, het overlijdensrisico voor vrouwelijke bestuurders is het aantal doden onder vrouwelijke bestuurders (59) gedeeld door alle vrouwelijke bestuurders die bij een ongeval betrokken zijn (165.721). Merk op dat de absolute waarden van deze risico's niet zoveel zeggen door onderregistratie, maar dat de verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders wel representatief zijn (zie *Paragraaf 3.1.2.2*).

De absolute letselrisico's zijn te zien in *Afbeelding 7.1*. Het overlijdensrisico voor vrouwelijke bestuurders (0,00036) is lager dan het overlijdensrisico voor mannelijke bestuurders (0,00052). Vrouwelijke bestuurders hebben dus een 32% lager overlijdensrisico dan mannelijke bestuurders, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. De risico's op ziekenhuisopname en op licht letsel zijn voor vrouwelijke bestuurders echter hoger dan voor mannelijke bestuurders: respectievelijk 1,3 versus 0,9% en 4,4 versus 2,7%. Vrouwelijke bestuurders hebben dus een 52% hoger risico op ziekenhuisopname dan mannelijke bestuurders, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Het risico om lichtgewond te raken is voor vrouwelijke bestuurders zelfs 67% hoger dan voor mannelijke bestuurders.

Voor iedere mate van letselernst geldt dat de letselrisico's voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders allemaal significant verschillend zijn van elkaar ( $p = 0,05$ ). De variantie in het verschil tussen de letselrisico's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders is bepaald met behulp van de 'propagation of error'-methode, waarbij het verschil gelineariseerd is met behulp van Taylor-expansie (Rice, 1995).

Evenals in diverse buitenlandse onderzoeken, geldt voor ziekenhuisopname en licht letsel dat vrouwelijke bestuurders vaker letsel hebben dan mannelijke bestuurders, wanneer zij bij een auto-auto-ongeval betrokken zijn. Dit geldt echter niet voor een dodelijke afloop: vrouwelijke bestuurders hebben juist een lager overlijdensrisico dan mannelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen.



Afbeelding 7.1. Het absoluut letselrisico voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders en het gemiddelde in de periode 2001-2006 voor drie maten van letselernst: dood (linker staafdiagram), ziekenhuisopname (middelste staafdiagram) en licht letsel (rechter staafdiagram).

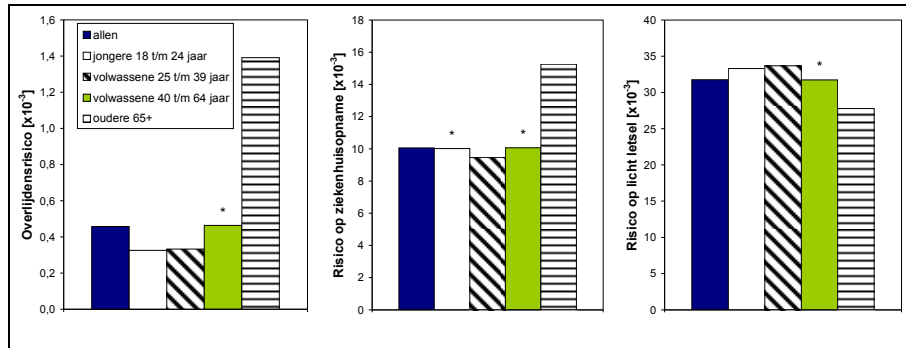
## 7.2. Leeftijd bestuurder

Tabel 7.2 toont de aantallen slachtoffers onder bestuurders in de periode 2001-2006 voor vier leeftijdsklassen en drie maten van letselernst: dood, ziekenhuisopname en lichtgewond. De leeftijdsklassen komen overeen met de leeftijdsklassen gebruikt in *Hoofdstuk 4*: jongeren (18-24 jaar), volwassenen van 25-39 jaar, volwassenen van 40-64 jaar, en ouderen (65+). Naast de aantallen slachtoffers worden de aantallen bestuurders in iedere leeftijdsklasse gegeven, die betrokken waren bij alle onderzochte auto-auto-ongevallen (vijfde kolom). Ook hier liggen de totalen iets hoger dan de som over de leeftijdsklassen, omdat bij een klein aantal bestuurders de leeftijd niet geregistreerd is.

Leeftijdsklasse	Aantal slachtoffers			
	Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond	Alle bestuurders
Jongere 18 t/m 24 jaar	32	982	3.266	98.069
Volwassene 25 t/m 39 jaar	62	1.762	6.267	186.101
Volwassene 40 t/m 64 jaar	79	1.713	5.401	170.207
Oudere 65+	61	669	1.218	43.844
Totaal	234	5.137	16.228	510.946

Tabel 7.2. De aantallen slachtoffers onder bestuurders voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar leeftijdsklasse en de aantallen bestuurders in alle auto-auto-ongevallen naar leeftijdsklasse, in de periode 2001-2006.

Analoog aan Paragraaf 7.1 zijn de absolute letselrisico's bepaald naar leeftijdscategorie voor de drie maten van letselernst. Tevens is voor iedere mate van letselernst bepaald of de absolute letselrisico's voor de leeftijdsgroepen significant verschillen van het gemiddeld absoluut risico ( $p = 0,05$ ). De absolute letselrisico's zijn te zien in Afbeelding 7.2. Wanneer het letselrisico van bestuurders in een bepaalde leeftijdsklasse niet significant verschilt van het gemiddelde letselrisico voor alle bestuurders, is dit aangegeven met een asterisk.



Afbeelding 7.2. Het absoluut letselrisico voor bestuurders van verschillende leeftijdsgroepen en het gemiddelde in de periode 2001-2006 voor drie maten van letselernst: dood (linker staafdiagram), ziekenhuisopname (middelste staafdiagram) en licht letsel (rechter staafdiagram). Een asterisk geeft aan dat het absoluut letselrisico in een bepaalde leeftijdsklasse niet significant ( $p > 0,05$ ) verschilt met het gemiddeld absoluut letselrisico.

In Afbeelding 7.2 is te zien dat het overlijdensrisico van oudere bestuurders (0,00139) fors hoger is dan het gemiddelde overlijdensrisico (0,00047). Oudere bestuurders (65+) hebben dus een meer dan drie keer zo groot overlijdensrisico dan gemiddeld, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Het risico op ziekenhuisopname voor oudere bestuurders (0,015) is ook hoger dan gemiddeld (0,010). Oudere bestuurders hebben dus een anderhalf keer zo groot risico op ziekenhuisopname dan gemiddeld,

wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Het risico op licht letsel voor oudere bestuurders (0,028) is lager dan gemiddeld (0,032). Dat is omdat de risico's op overlijden en ziekenhuisopname voor oudere bestuurders zoveel hoger zijn dan gemiddeld. Het totale letselrisico (risico op overlijden, ziekenhuisopname of licht letsel) is voor oudere bestuurders (0,044) namelijk wel iets hoger dan gemiddeld (0,042).

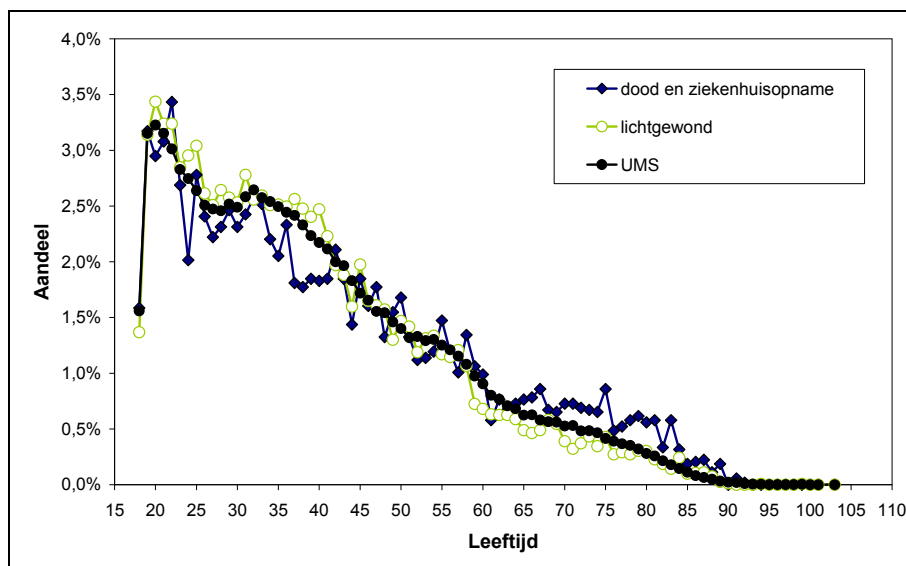
Voor jongere bestuurders blijkt uit *Afbeelding 7.2* het volgende. Het overlijdensrisico voor jongere bestuurders (0,00033) is lager dan gemiddeld (0,00047). Jongere bestuurders (18 t/m 24 jaar) hebben dus een circa 30% kleiner overlijdensrisico dan gemiddeld, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Dit geldt overigens ook voor volwassen bestuurders van 25 t/m 39 jaar. Het risico op ziekenhuisopname voor jongere bestuurders is niet significant verschillend van gemiddeld (0,010). Het risico op licht letsel voor jongere bestuurders (0,033) is iets hoger dan gemiddeld (0,032). Het totale letselrisico voor jongere bestuurders (0,044) is ook iets hoger dan gemiddeld (0,042).

Concluderend, oudere bestuurders lopen veel meer risico op ernstig letsel (dodelijk en ziekenhuisopname) dan gemiddeld. Daarentegen hebben zij iets minder groot risico dan gemiddeld op licht letsel. Jongere bestuurders hebben een lager overlijdensrisico en een hoger risico op licht letsel dan gemiddeld.

In *Afbeelding 7.3* zijn de aandelen bestuurders van een bepaalde leeftijd onder doden en ziekenhuisgewonden samen, onder lichtgewonden en onder betrokkenen bij UMS-ongevallen uitgezet naar leeftijd voor de periode 2001-2006. De aantallen doden en ziekenhuisopnamen per leeftijdsjaar zijn zeer gering, daarom zijn deze samengenomen.

Om te onderzoeken of jongere bestuurders vaker dan andere leeftijdsgroepen betrokken zijn bij auto-auto-ongevallen, is ook het aandeel betrokken bestuurders bij UMS-auto-auto-ongevallen naar leeftijd geanalyseerd. Het is duidelijk te zien dat het aandeel betrokken bestuurders sterk afneemt met de leeftijd. Het aandeel 20-jarige bestuurders is het hoogst (3,2%) en daarna neemt het af tot bijna 0% voor 95-jarigen. Jongere bestuurders zijn dus inderdaad heel vaak betrokken bij een auto-auto-ongeval.

Bestuurders met een leeftijd tot en met 33 jaar zijn naar verhouding even vaak betrokken bij ongevallen waarin ze lichtgewond of ernstig gewond raken, als bij UMS-auto-auto-ongevallen: de verschillende aandelen zijn even hoog. Dus net als uit *Afbeelding 7.2* blijkt dat jongere bestuurders niet vaker dan gemiddeld letsel hebben wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Dit is niet het geval voor oudere bestuurders. De aandelen bestuurders met een leeftijd vanaf 65 jaar onder lichtgewonden, en onder ziekenhuisgewonden en doden samen, zijn hoger dan onder betrokkenen bij UMS-auto-auto-ongevallen (*Afbeelding 7.3*).



Afbeelding 7.3. Het aandeel bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen van een bepaalde leeftijd onder doden en ziekenhuisgewonden samen, onder lichtgewonden, en onder betrokkenen bij UMS-ongevallen in de periode 2001-2006 naar leeftijd.

### 7.3. Conclusies

Vrouwelijke bestuurders hebben vaker letsel dan mannelijke bestuurders (67% voor lichtgewonden en 52% voor ziekenhuisopnamen) maar overlijden minder vaak (-32%), wanneer zij bij een auto-auto-ongeval betrokken zijn. De resultaten voor letsel passen binnen resultaten uit andere landen (De Brabander, 2005; Kockelman & Kweon, 2002; O'Donnell & Connor, 1996), maar de resultaten voor het overlijdensrisico niet (De Brabander, 2005; Evans, 1991; Kockelman & Kweon, 2002; O'Donnell & Connor, 1996). Het is niet duidelijk wat daarvoor de reden is. In de volgende hoofdstukken wordt de relatie tussen dit verschijnsel en zowel automassa als leeftijdsopbouw van vrouwelijke bestuurders onderzocht. Daarnaast zijn er nog verschillende alternatieve verklaringen mogelijk. Een voorbeeld daarvan is dat vrouwelijke bestuurders misschien meer binnen de bebouwde kom rijden dan mannelijke bestuurders. Deze worden in dit rapport niet onderzocht.

Oudere bestuurders (65+) hebben vaker dan gemiddeld letsel, wanneer zij bij een auto-auto-ongeval betrokken zijn. Het verhoogde letselrisico neemt toe met de ernst van het letsel (-15%, +50% en +200% voor respectievelijk lichtgewonden, ziekenhuisopnamen en doden). Dit patroon past uitstekend bij de resultaten gevonden in de literatuur (De Brabander, 2005; Evans, 1991; Koornstra, 1999; Mackay, 1988).

Jongere bestuurders hebben vaak letsel en zijn vaak betrokken bij een auto-auto-ongeval. Zij hebben even vaak letsel als gemiddeld over alle leeftijden en overlijden minder vaak dan gemiddeld (-31%), wanneer zij bij een auto-auto-ongeval betrokken zijn. Dit past bij een overlijdensrisico dat toeneemt met de leeftijd (Evans, 1991).

## 8. Verschillen in automassa als mogelijke verklaring voor de hoge letselrisico's van vrouwelijke en oudere bestuurders

In dit hoofdstuk wordt onderzocht in hoeverre de verschillen in absolute letselrisico's tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders (*Paragraaf 7.1*) en tussen bestuurders van verschillende leeftijdscategorieën (*Paragraaf 7.2*) verklaard kunnen worden door verschillen in automassa (inclusief het effect van de bijbehorende secundaire veiligheid) tussen de verschillende groepen. In *Hoofdstuk 5* is aangetoond dat het absoluut letselrisico afneemt met een groter relatief massaverschil, dat wil zeggen een zwaardere auto van de bestuurder ten opzichte van de automassa van de tegenpartij. Op basis van het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  zijn de verwachte aantallen slachtoffers berekend naar geslacht en leeftijdscategorie. Door deze te vergelijken met de waargenomen aantallen slachtoffers kan worden nagegaan in hoeverre de verschillen in massa de verschillen in absolute letselrisico's tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders en tussen bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën verklaren.

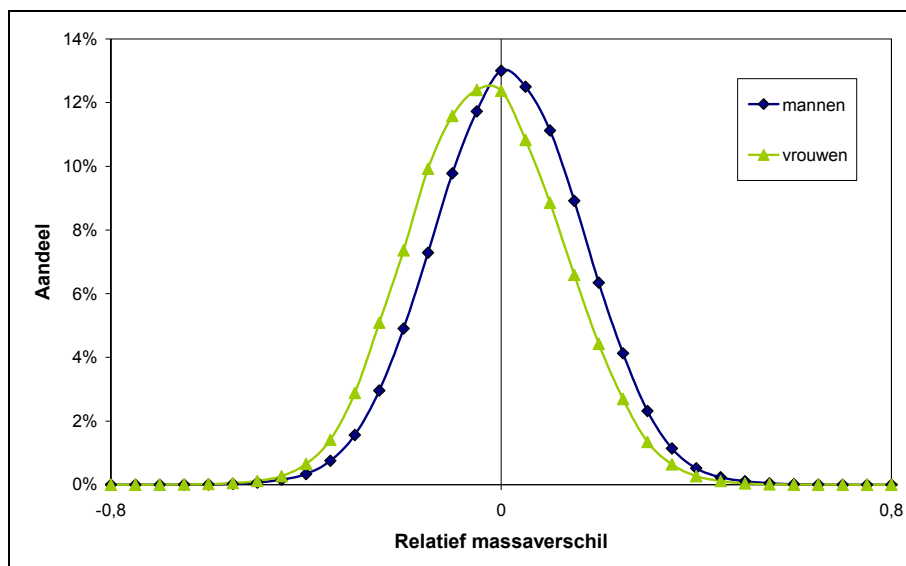
Om de verwachte aantallen te berekenen voor de verschillende groepen is eerst de relatief-massaverschilverdeling bepaald voor de twee geslachten en vier verschillende leeftijdscategorieën (*Paragraaf 8.1*). Vervolgens zijn deze relatieve massaverdelingen gebruikt om de verwachte aantallen doden, ziekenhuisgewonden en lichte letsels te bepalen op basis van het absoluut letselrisico (*Paragraaf 8.2*). De verwachte absolute letselrisico's naar geslacht en leeftijdscategorie (*Paragraaf 8.3*) worden vergeleken met de waargenomen absolute letselrisico's (op basis van geregistreerde aantallen) om na te gaan in hoeverre het relatief massaverschil de hoge letselrisico's onder vrouwelijke en oudere bestuurders kan verklaren.

Een andere methode om te onderzoeken of het relatief massaverschil de hoge letselrisico's onder vrouwelijke en oudere bestuurders kan verklaren wordt besproken in *Paragraaf 8.4*. Daar worden de absolute letselrisico's bij een botsing tussen twee auto's van gelijke massa bepaald naar leeftijd en naar geslacht van de bestuurder (en tevens slachtoffer). Wanneer deze onderling gelijk zijn dan is het verschil in massa de verklaring voor de hoge letselrisico's onder vrouwelijke en oudere bestuurders.

### 8.1. Relatief massaverschil voor alle ongevallen naar geslacht of leeftijd van de bestuurder

De relatief-massaverschilverdelingen zijn bepaald voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen, en weergegeven in *Afbeelding 8.1*. De verdelingen zijn significant verschillend van normale verdelingen (Kolmogorov-Smirnov-test  $D_{334.286} = 2,6 \cdot 10^{-3}$  voor mannen en  $D_{165.721} = 7,3 \cdot 10^{-3}$  voor vrouwen,  $p < 0,01$ ). Uit de Q-Q-plots blijkt dat alleen de uitersten van de staarten niet overeenkomen met een normale verdeling ( $Q > 4$  of  $Q < -4$ ). Dus in de praktijk wijken de relatief-massaverschilverdelingen voor mannen en vrouwen nauwelijks af van een normale verdeling.





Afbeelding 8.1. De relatief-massaverschilverdeling van auto's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders in alle ongevallen. De gesloten symbolen geven de aandelen aan, terwijl de doorgetrokken lijnen de best passende normale verdelingen zijn.

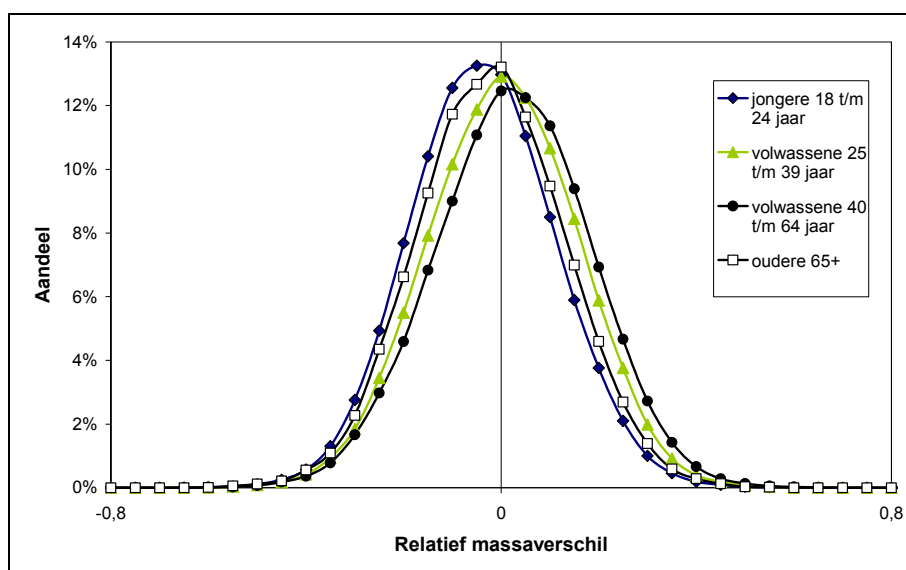
Het gemiddelde en de standaarddeviatie van het relatief massaverschil worden gegeven in *Tabel 8.1*. De standaarddeviaties blijken voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders ongeveer gelijk. Deze waarde is iets lager dan de standaarddeviatie voor alle bestuurders samen (0,156). De subgroepen kennen minder spreiding, omdat auto's van vrouwelijke bestuurders gemiddeld lichter zijn dan auto's van mannelijke bestuurders. Het gemiddelde is voor vrouwelijke bestuurders negatief. Dat betekent dat de tegenpartij van een vrouwelijke bestuurder vaak een zwaardere auto heeft dan de vrouw zelf. Voor mannelijke bestuurders is het gemiddelde juist positief. Zij hebben vaak een zwaardere auto dan hun tegenpartij. De absolute waarde van het gemiddeld relatief massaverschil is bij de vrouwelijke bestuurders groter dan bij mannelijke bestuurders. Dit heeft ermee te maken dat minder vrouwelijke autobestuurders dan mannelijke autobestuurders betrokken zijn bij auto-auto-ongevallen (circa een derde is vrouw). Vrouwelijke bestuurders treffen daarom relatief vaker een tegenpartij van het andere geslacht wanneer zij een auto-auto-ongeval hebben (ongeveer twee derde), terwijl mannelijke bestuurders vaker een tegenpartij van hetzelfde geslacht treffen (ook ongeveer twee derde). Het gemiddeld relatief massaverschil tussen bestuurders van hetzelfde geslacht is nul, terwijl dat niet geldt voor ongevallen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders, omdat mannelijke bestuurders gemiddeld in zwaardere auto's rijden dan vrouwelijke bestuurders. Het gemiddeld relatief massaverschil van mannelijke bestuurders met als tegenpartij een vrouwelijke bestuurder is 0,046 en van vrouwelijke bestuurders met als tegenpartij een mannelijke bestuurder -0,046.

Geslacht	Gemiddelde $\mu$	Standaarddeviatie $\mu$
Mannen	0,015	0,154
Vrouwen	-0,031	0,155
Alle bestuurders	0,000	0,156

Tabel 8.1. De gemiddelde waarden en spreiding van het relatief massaverschil voor auto's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders in alle ongevallen.

De relatief-massaverschilverdelingen zijn bepaald voor bestuurders van vier verschillende leeftijdsgroepen in auto-auto-ongevallen zijn weergegeven in *Afbeelding 8.2*. Alle verdelingen behalve die voor ouderen zijn significant verschillend van normale verdelingen (Kolmogorov-Smirnov-test  $D_{98.069} = 6,6 \cdot 10^{-3}$ ,  $p < 0,01$  voor jongeren 18-24 jaar,  $D_{186.101} = 4,7 \cdot 10^{-3}$ ,  $p < 0,01$  voor volwassenen 25-39 jaar,  $D_{170.207} = 6,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $p < 0,01$  voor volwassenen 40-64 jaar en  $D_{43.844} = 3,7 \cdot 10^{-3}$ ,  $p > 0,15$  voor ouderen 65+). Uit de Q-Q-plots blijkt dat alleen de uitersten van de staarten niet overeenkomen met een normale verdeling ( $Q > 4$  of  $Q < -4$ ). Dus in de praktijk wijken de relatief-massaverschilverdelingen voor de verschillende leeftijdscategorieën nauwelijks af van een normale verdeling.

Het gemiddelde en de standaarddeviatie van het relatief massaverschil worden gegeven in *Tabel 8.2*. De standaarddeviaties zijn iets lager dan of gelijk aan de standaarddeviatie voor alle bestuurders samen (0,156). Het gemiddeld relatief massaverschil is negatief voor jongere en oudere bestuurders, omdat zij gemiddeld in lichtere auto's rijden. Het is positief voor volwassen bestuurders van 25 t/m 39 jaar en van 40 t/m 64 jaar.



Afbeelding 8.2. De relatief-massaverschilverdeling van auto's van bestuurders in vier leeftijdsgroepen in alle ongevallen. De symbolen geven de aandelen aan, terwijl de doorgetrokken en gestippelde lijnen de best passende normale verdelingen zijn.

Leeftijdsklasse	Gemiddelde $\mu$	Standaarddeviatie $\mu$
Jongere 18 t/m 24 jaar	-0,038	0,148
Volwassene 25 t/m 39 jaar	0,003	0,154
Volwassene 40 t/m 64 jaar	0,023	0,159
Oudere 65+	-0,021	0,151
Alle bestuurders	0,000	0,156

Tabel 8.2. De gemiddelde waarden en spreiding van het relatief massaverschil voor auto's van bestuurders in vier leeftijdsgroepen in alle ongevallen.

## 8.2. Verwachte aantallen letsels onder vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders

In deze paragraaf worden de verwachte aantallen letsels op basis van de relatieve massaverschillen bepaald, zodat nagegaan kan worden in hoeverre de verschillen in absolute letselrisico's tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders (*Paragraaf 7.1*) en tussen bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën (*Paragraaf 7.2*) verklaard kunnen worden door automassaverschillen tussen de verschillende groepen.

Er wordt hier vooralsnog buiten beschouwing gelaten dat het absoluut letselrisico afhangt van het geslacht en de leeftijd, los van massa-effecten. Dit omdat juist onderzocht wordt in hoeverre de verschillen in absolute letselrisico's verklaard worden door de verschillen in massa tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders en tussen bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën. De verwachte aantallen slachtoffers worden bepaald op basis van de relatief-massaverschilverdelingen van de subgroepen (*Paragraaf 8.1*) in combinatie met het absoluut letselrisico  $L(\mu)$  (*Paragraaf 5.3*). In *Bijlage 5* wordt uitgelegd hoe de verwachte aantallen verkregen zijn. Hieronder wordt daar een voorbeeld van beschreven.

Als voorbeeld wordt hier aangegeven hoe het verwachte aantal doden onder vrouwelijke bestuurders bepaald is. Eerst is de verwachte relatief-massaverschilverdeling voor overleden vrouwelijke bestuurders,  $RMVV_{overleden\ominus}(\mu)$  bepaald door het overlijdensrisico als functie van het relatief massaverschil,  $L_{overlijden}(\mu)$  (ruitsymbolen in *Afbeelding 5.3*) te vermenigvuldigen met de relatief-massaverschilverdeling van alle vrouwelijke bestuurders betrokken bij auto-auto-ongevallen,  $RMVV_{alle\oplus}(\mu)$  (driehoeksymbolen in *Afbeelding 8.1*, maar dan absolute aantallen in plaats van aandelen):

$$RMVV_{overleden\ominus}(\mu) = L_{overlijden}(\mu) \cdot RMVV_{alle\oplus}(\mu)$$

Daarna is het totale verwachte aantal overleden vrouwelijke bestuurders verkregen door te sommeren over alle relatieve massaverschilklassen.

In *Tabel 8.3* en *Tabel 8.4* worden de verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar geslacht en naar leeftijdsklasse gegeven.

Geslacht		Aantal slachtoffers		
		Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
Mannen	Verwacht	143	3.247	10.371
	Geregistreerd	175	2.922	8.848
Vrouwen	Verwacht	88	1.794	5.529
	Geregistreerd	59	2.202	7.320

Tabel 8.3. De verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar geslacht voor de periode 2001-2006.

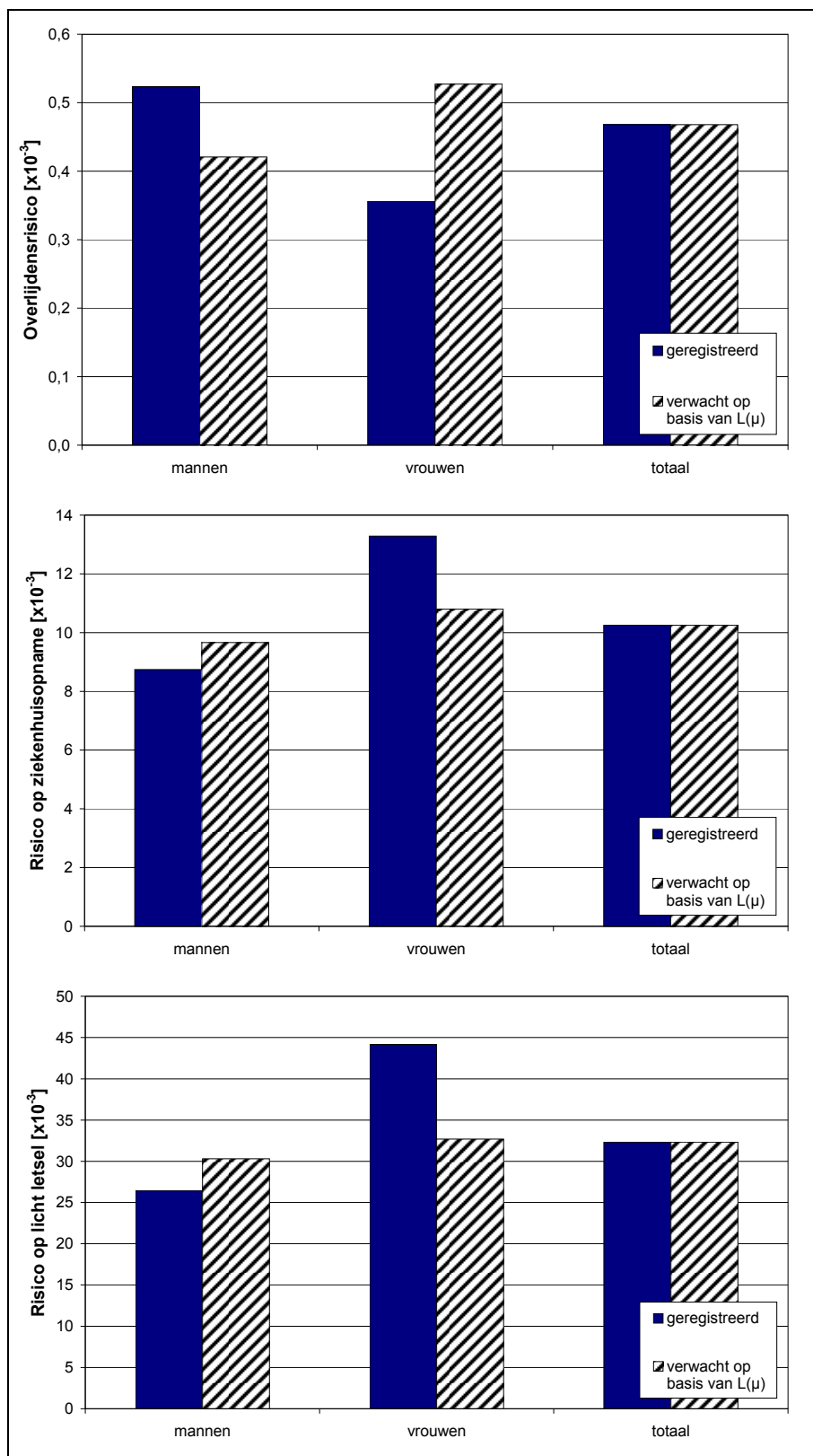
Leeftijdsklasse		Aantal slachtoffers		
		Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
Jongere 18 t/m 24 jaar	Verwacht	56	1.087	3.319
	Geregistreerd	32	982	3.266
Volwassene 25 t/m 39 jaar	Verwacht	84	1.859	5.884
	Geregistreerd	62	1.762	6.267
Volwassene 40 t/m 64 jaar	Verwacht	69	1.613	5.200
	Geregistreerd	79	1.713	5.401
Oudere 65+	Verwacht	23	466	1.443
	Geregistreerd	61	669	1.218

Tabel 8.4. De verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar leeftijdsklasse voor de periode 2001-2006.

### 8.3. Verwachte absolute letselrisico's voor vrouwelijke, jongere en oudere bestuurders

De verwachtingen worden vergeleken met de geregistreerde data door de verwachte letselrisico's naar geslacht en leeftijdscategorie uit te zetten en deze te vergelijken met de geregistreerde letselrisico's  $L$ , in *Paragraaf 7.1* en *7.2*. De verwachte risico's voor de subgroepen worden bepaald door het verwachte aantal slachtoffers in de subgroep te delen door het geregistreerde aantal bestuurders betrokken bij een auto-auto-ongeval in de subgroep.

De verwachte absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel onder vrouwelijke en mannelijke bestuurders zijn te zien in *Afbeelding 8.3*. Ze zijn uitgezet naast de absolute risico's bepaald uit de geregistreerde data, die ook zijn weergegeven in *Afbeelding 7.1*, zodat zichtbaar wordt in hoeverre de verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders verklaard worden door verschillen in automassa.



Afbeelding 8.3. Het geregistreerd en op basis van de relatieve massa-verschillen verwacht absoluut letselrisico voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders voor de periode 2001-2006 en voor drie maten van letselernst: dood (bovenste grafiek), ziekenhuisopname (middelste grafiek) en licht letsel (onderste grafiek).

Omdat vrouwen gemiddeld in lichtere auto's rijden, geeft de verwachting een hoger letselrisico voor vrouwelijke bestuurders dan voor mannelijke bestuurders (0,00053 versus 0,00042 voor het overlijdensrisico; 0,0108 versus 0,0097 voor het risico op ziekenhuisopnamen; 0,0327 versus 0,0303 voor het risico op licht letsel). Volgens de verwachtingen hebben vrouwelijke bestuurders een 25% hoger overlijdensrisico, een 12% hoger risico op ziekenhuisopname en een 8% hoger risico op licht letsel dan mannelijke bestuurders, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Dit verwachte verschil neemt dus toe naarmate de letselernst toeneemt.

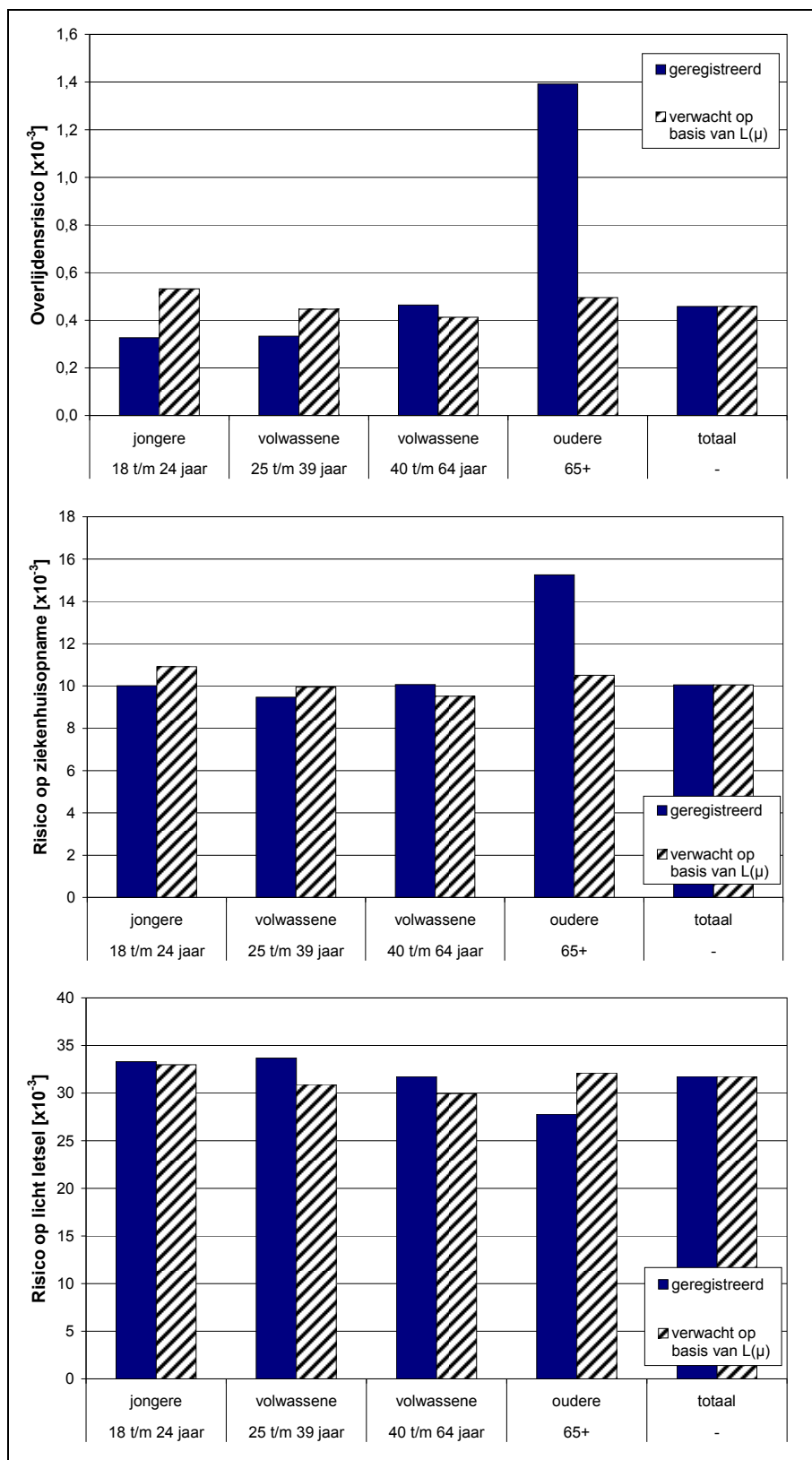
De op basis van het relatief massaverschil verwachte absolute letselrisico's komen niet overeen met de absolute letselrisico's bepaald uit de geregistreerde data (geregistreerde letselrisico's). Het geregistreerde overlijdensrisico is voor vrouwelijke bestuurders immers lager dan voor mannelijke bestuurders (-32%), zo zagen we al in *Hoofdstuk 7*. Terwijl op basis van het relatief massaverschil voor vrouwen een hoger overlijdensrisico wordt verwacht. De geregistreerde risico's op ziekenhuisopname en licht letsel onder vrouwelijke bestuurders zijn juist veel hoger dan gemiddeld (52% en 67%), terwijl de verwachte risico's slechts een fractie hoger zijn dan gemiddeld (12% en 8% respectievelijk).

De massaverschillen tussen auto's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders zouden slechts voor een klein deel kunnen bijdragen aan de verschillen in letselrisico bij mannelijke en vrouwelijke bestuurders. Dit betekent dat er nog een of meer andere verschillen tussen mannen en vrouwen een rol spelen waardoor het verschil in letselrisico tussen de twee geslachten zo groot is.

Het waargenomen verschil in overlijdensrisico tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders is zelfs tegenovergesteld aan wat we zouden verwachten op basis van de relatieve massaverschillen tussen deze twee groepen. Dat betekent dat er ook hier nog een of meer zaken een rol spelen die samen een groter, tegengesteld effect hebben ten opzichte van het verwachte effect. In *Hoofdstuk 9* gaan we hierop verder in.

De geregistreerde en de verwachte absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel in vier leeftijdsklassen (jongeren 18-24 jaar, volwassenen 25-39 jaar, volwassenen 40-64 jaar en ouderen 65+) zijn te zien in *Afbeelding 8.4*.

De verwachtingen voor jongere en oudere bestuurders zijn vergelijkbaar met die voor vrouwelijke bestuurders. Omdat ook jongeren en ouderen gemiddeld in lichtere auto's rijden, geeft de verwachting een hoger risico voor jongere en oudere bestuurders dan voor alle bestuurders (een overlijdensrisico van 0,00053 onder de jongere bestuurders en 0,00050 onder de oudere bestuurders versus 0,00047 onder alle bestuurders; een risico op ziekenhuisopname van 0,0109 en 0,0105 onder jongere en oudere bestuurders versus 0,0102 onder alle bestuurders; een risico op licht letsel van 0,0330 en 0,0321 onder jongere en oudere bestuurders versus 0,0323 onder alle bestuurders). Volgens de verwachtingen hebben jongere bestuurders een 16% hoger overlijdensrisico, een 9% hoger risico op ziekenhuisopname en een 4% hoger risico op licht letsel dan gemiddeld, wanneer zij betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval. Voor oudere bestuurders is dit respectievelijk 8%, 5% en 1%.



Afbeelding 8.4. Het geregistreerd en op basis van de relatieve massa-verschillen verwacht absoluut letselrisico voor bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën voor de periode 2001-2006 en voor drie maten van letselernst: dood (bovenste grafiek), ziekenhuisopname (middelste grafiek) en licht letsel (onderste grafiek).

Deze effecten van massaverschillen komen niet overeen met de waargenomen letselrisico's. De massaverschillen tussen auto's van oudere bestuurders en alle bestuurders zouden slechts voor een fractie bij kunnen dragen aan het verhoogde overlijdensrisico en het risico op ziekenhuisopname van oudere bestuurders. Naast massaverschillen spelen dus nog een of meer andere verschillen tussen deze leeftijdsgroepen een belangrijke rol. Het waargenomen verschil in risico op licht letsel tussen oudere bestuurders en alle bestuurders gemiddeld is zelfs tegenovergesteld aan wat we zouden verwachten op basis van de relatieve massaverschillen tussen deze groepen. Ook dit wijst weer op een belangrijke rol van een of meer andere factoren.

Terwijl voor oudere bestuurders de verwachte aantallen doden en ziekenhuisopnamen veel lager liggen dan de waargenomen aantallen, liggen voor jongere bestuurders de verwachte aantallen doden en ziekenhuisopnamen veel hoger dan waargenomen. Het waargenomen verschil in risico op overlijden en ziekenhuisopname tussen jongere bestuurders en alle bestuurders gemiddeld, is daarom tegenovergesteld aan wat we zouden verwachten op basis van de relatieve massaverschillen.

Het feit dat de waargenomen aantallen doden en ziekenhuisopnamen voor oudere bestuurders hoger zijn en voor jongere bestuurders lager zijn dan de verwachte aantallen, duidt op een leeftijdseffect. Ouderen zijn fysiek kwetsbaarder dan jongeren, waardoor ouderen ernstiger letsel oplopen en eerder overlijden bij een ongeval en jongeren minder vaak ernstig gewond raken of overlijden.

Het ligt niet voor de hand dat andere leeftijdseffecten zoals rijervaring, of tijdstip en locatie van de ritten de hier gevonden resultaten sterk hebben beïnvloed. Dat is omdat we in dit onderzoek een relatieve letselkans hebben bepaald, waarbij zowel ongevallen zonder letsel als ongevallen mét letsel zijn betrokken. Het is aannemelijk dat de beperkte rijervaring van jongeren zowel het aantal ongevallen mét letsel als het aantal ongevallen zonder letsel beïnvloedt.

Niettemin kan niet worden uitgesloten dat verschillen in de locaties van ritten (bijvoorbeeld veel of weinig binnen de bebouwde kom rijden) van invloed is op de verhouding tussen het aantal ongevallen mét en zonder letsel. Daardoor is het denkbaar dat mensen (bijvoorbeeld ouderen) die vaker binnen de kom rijden, minder vaak ernstig letsel hebben, in verhouding tot hun ongevalsbetrokkenheid. Deze invloeden zijn niet onderzocht.

#### 8.4. **Absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil naar geslacht en leeftijd van de bestuurder**

Wanneer de verschillen in absolute letselrisico's  $L$  tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders en tussen bestuurders van verschillende leeftijdscategorieën verklaard konden worden door de verschillen in automassa, dan zouden de absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  voor de verschillende subgroepen gelijk zijn. In deze paragraaf worden de absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  bepaald voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders en voor bestuurders in vier verschillende leeftijdscategorieën. Er wordt onderzocht óf deze functies verschillen en op welke manier ze verschillen.

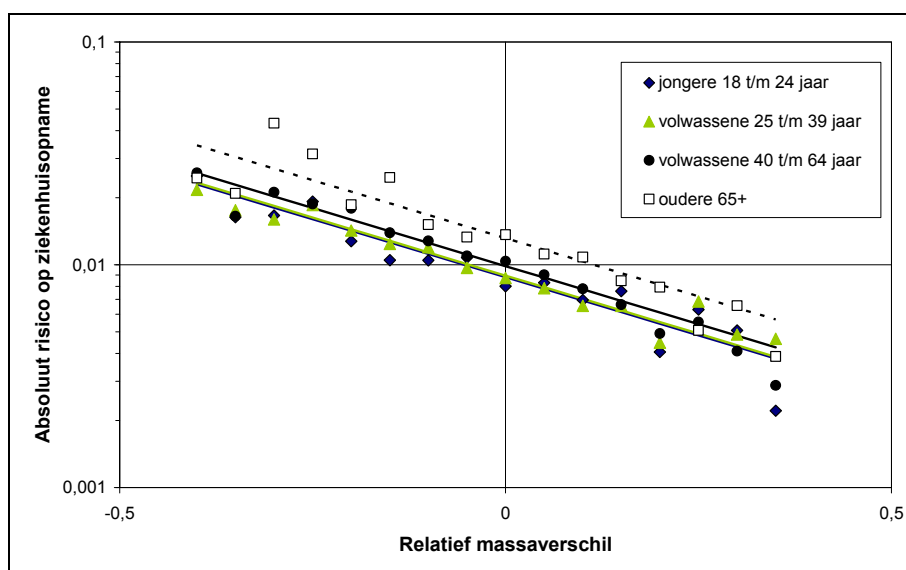


De berekening van  $L(\mu)$  gaat hetzelfde als in *Hoofdstuk 5*, maar nu worden de gedisaggregeerde relatief-massaverschilverdelingen gebruikt. Bijvoorbeeld het absoluut risico op ziekenhuisopname voor jongere bestuurders,  $L_{zh\_jongeren}$ , is de relatief-massaverschilverdeling voor jongere bestuurders die betrokken waren bij een auto-auto-ongeval en die opgenomen zijn in het ziekenhuis,  $RMVV_{zh\_jongeren}$ , gedeeld door de relatief-massaverschilverdeling voor alle jongere bestuurders die betrokken waren bij een auto-auto-ongeval,  $RMVV_{alle\_jongeren}$  (ruitsymbolen in *Afbeelding 8.2*):

$$L_{\text{ziekenhuisopname jongeren}}(\mu) = \frac{RMVV_{\text{ziekenhuisopname jongeren}}(\mu)}{RMVV_{\text{alle jongeren}}(\mu)}$$

Op deze wijze zijn de absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel bepaald voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders, en voor bestuurders onder jongeren van 18 t/m 24 jaar, volwassenen van 25 t/m 39 jaar, volwassenen van 40 t/m 64 jaar en ouderen van 65+. Dat zijn achttien risicofuncties.

Ter illustratie wordt hier het absoluut risico op ziekenhuisopname naar leeftijdscategorie getoond, zie *Afbeelding 8.5*. Voor iedere leeftijdscategorie zien we een exponentiële afname van het risico op ziekenhuisopname met een groter relatief massaverschil (dat wil zeggen een zwaardere auto van de bestuurder ten opzichte van de automassa van de tegenpartij). De exponentiële afname is even groot, want de lijnen lopen parallel. Dat de grootte van het risico verschillend is voor de leeftijdscategorieën, is te zien aan de verschillende asafsnedes. De asafsnode is de waarde van het absoluut risico bij een relatief massaverschil van nul:  $L(0)$ .  $L(0)$  neemt toe met de leeftijd. Er is dus naast het effect van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico een effect van leeftijd. Het leeftijdseffect is onafhankelijk van het effect van het relatief massaverschil, omdat alle leeftijdscategorieën dezelfde exponentiële afname van het risico op ziekenhuisopname met een groter relatief massaverschil kennen.



*Afbeelding 8.5. Het absoluut risico op ziekenhuisopname als functie van het relatief massaverschil voor vier leeftijdscategorieën. Merk op dat de verticale as een logaritmische schaal heeft.*

Ook voor het overlijdensrisico en het risico op licht letsel is de exponentiële afname even groot voor alle leeftijdsgroepen en hangt de asafsnede  $L(0)$  af van de leeftijdscategorie. Bovendien gelden deze bevindingen ook voor de verschillende geslachten. De exponentiële afname van de letselrisico's van mannelijke en vrouwelijke bestuurders zijn even groot, terwijl de asafsnedes  $L(0)$  verschillend zijn. Alle asafsnedes zijn te zien in *Tabel 8.5*.

Klasse	Bij gelijke automassa, risico op		
	Overlijden	Ziekenhuisopname	Licht letsel
Gemiddeld	0,00034	0,0094	0,031
Mannen	0,00041	0,0086	0,026
Vrouwen	0,00023	0,0115	0,041
Jongere 18 t/m 24 jaar	0,00020	0,0088	0,031
Volwassene 25 t/m 39 jaar	0,00023	0,0089	0,033
Volwassene 40 t/m 64 jaar	0,00039	0,0099	0,032
Oudere 65+	0,00104	0,0132	0,026

Tabel 8.5. *De asafsnedes van de absolute letselrisico's  $L(0)$  voor drie maten van letselernst.*

De asafsnede  $L(0)$  hangt niet af van de massaverschillen, omdat  $L(0)$  het absoluut letselrisico is bij een ongeval tussen twee auto's met gelijke massa. Toch zien we grote verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders en tussen bestuurders van leeftijdscategorieën. Dus het verschil in massa draagt wel bij aan verschillen in letselrisico's tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders en tussen bestuurders in leeftijdscategorieën, maar verklaart lang niet alles.

De bevindingen van deze paragraaf ondersteunen de resultaten uit *Paragraaf 8.3*, waar ook bleek dat de verschillen in massa tussen de verschillende subgroepen niet (de enige) verklaring zijn voor de hoge letselrisico's van vrouwelijke en oudere bestuurders. Bovendien neemt  $L(0)$  voor overlijden en ziekenhuisopname toe met de leeftijd van de bestuurder, wat weer duidt op een toenemende fysieke kwetsbaarheid met de jaren.

## 8.5. Conclusies

De relatief-massaverschilverdelingen voor alle ongevallen naar geslacht of leeftijd van de bestuurder zijn bepaald. Jongere, oudere en vrouwelijke bestuurders hebben in botsingen een relatief massaverschil dat gemiddeld negatief is, omdat zij in lichtere auto's rijden.

Er zijn verwachte waarden berekend voor het risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders, en voor bestuurders onder jongeren van 18-24 jaar, volwassenen van 25-39 jaar, volwassenen van 40-64 jaar en ouderen van 65+. Deze verwachtingen voor  $L$  zijn gebaseerd op het letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  en de relatief-massaverschilverdelingen van de verschillende subgroepen. De verwachte absolute risico's komen slecht overeen met de geregistreerde absolute risico's. De verschillen tussen de letselrisico's voor de verschillende leeftijdsgroepen, en voor mannen en vrouwen, zijn groter

dan op basis van het relatief massaverschil kon worden verwacht. Het relatief massaverschil zou dus slechts een klein deel van de verschillen tussen bestuurders in verschillende leeftijdsgroepen en tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders kunnen verklaren. In het volgende hoofdstuk gaan we in op mogelijke verklaringen hiervoor.

Onder oudere bestuurders worden veel meer doden en ziekenhuisopnamen waargenomen dan verwacht, terwijl voor jongere bestuurders de waargenomen aantallen doden en ziekenhuisopnamen veel lager liggen dan de verwachte. Dit wijst erop dat naast het effect van massaverschillen, een ander leeftijdsafhankelijk effect een veel grotere invloed op het leeftijdsafhankelijk risico heeft. Dit is de fysieke kwetsbaarheid, die toeneemt met de jaren.

De absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  is ook bepaald voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders, en voor bestuurders in de vier verschillende leeftijdscategorieën. Voor iedere mate van letselernst is de afhankelijkheid van het relatief massaverschil hetzelfde voor iedere subgroep, maar verschilt de grootte van het absoluut letselrisico. De asafsnedes,  $L(0)$ , zijn de absolute letselrisico's voor botsingen tussen twee auto's met gelijke massa. Ze zijn verschillend voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders en voor bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën.  $L(0)$  voor overlijden en ziekenhuisopname neemt toe met de leeftijd, wat weer duidt op een toenemende fysieke kwetsbaarheid met de jaren.

## 9. Verschillen in automassa en leeftijd als mogelijke verklaringen voor het hoge letselrisico van oudere bestuurders

Uit *Hoofdstuk 8* blijkt dat het relatief massaverschil (inclusief de bijbehorende secundaire-veiligheidscomponenten) alléén niet voldoende zijn om de hoge letselrisico's voor oudere bestuurders te verklaren. Bovendien lijkt het gemiddeld laag relatief massaverschil voor jongere bestuurders in strijd met het lage overlijdensrisico voor jongere bestuurders. Er is sprake van een leeftijdseffect, waardoor ouderen ernstiger letsel oplopen en eerder overlijden bij een ongeval en jongeren minder vaak ernstig gewond raken of overlijden. Dit effect neemt met toe met enkele procenten per jaar (Evans, 1991). Het wordt toegeschreven aan de fysieke kwetsbaarheid die toeneemt met de jaren (Evans, 1991; Koornstra, 1999; Mackay, 1988). Net als in de genoemde literatuur wordt in dit hoofdstuk dit leeftijdseffect als gevolg van de toegenomen fysieke kwetsbaarheid ook bepaald, maar wordt er wel gecorrigeerd voor het relatief massaverschil en de bijbehorende aanwezigheid van secundaire-veiligheidscomponenten. De correctie voor het effect van het massaverschil is nodig, want het letselrisico hangt af van zowel het relatief massaverschil,  $\mu$ , zoals in *Hoofdstuk 5* en *6* is aangetoond, als van de fysieke kwetsbaarheid.

Het doel van dit hoofdstuk is om aan te tonen hoe het absoluut letselrisico afhangt van het relatief massaverschil (en de bijbehorende secundaire-veiligheidscomponenten), en de leeftijd:  $L(\mu, lft)$ . Uit *Hoofdstuk 5* is bekend hoe het letselrisico voor verschillende typen letselernst afhangt van het relatief massaverschil  $L(\mu)$ . Daarnaast is er nog een leeftijdseffect,  $f(lft)$  voor ieder type letselernst, dat in dit hoofdstuk gekwantificeerd wordt. Het leeftijdseffect en het effect van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico zijn onafhankelijk, omdat de letselrisico's  $L(\mu)$  van verschillende leeftijdscategorieën op dezelfde manier afhangen van het relatief massaverschil  $\mu$  (dezelfde exponentiële afname; zie *Paragraaf 8.4*). Daarom is het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil en de leeftijd van de bestuurder,  $L(\mu, lft)$  gelijk aan het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  (zoals bepaald in *Paragraaf 5.3*) maal het leeftijdseffect  $f(lft)$ :

$$L(\mu, lft) = L(\mu) \cdot f(lft) \quad (9.1)$$

Omdat  $L(\mu)$  reeds bekend is, wordt in dit hoofdstuk alleen het leeftijdseffect  $f(lft)$  bepaald. Het leeftijdseffect wordt bepaald met het absoluut letselrisico naar leeftijd  $L(lft)$ , zie *Vergelijking 3.12*. Het absoluut letselrisico naar leeftijd  $L(lft)$  hangt af van zowel de leeftijd van een bestuurder als van de automassa van een bestuurder en die van zijn tegenpartij. Het leeftijdseffect  $f(lft)$  wordt bepaald door de verhouding te nemen tussen het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd  $L(lft)$  en de op basis van het relatief massaverschil  $\mu$  verwachte absoluut letselrisico naar leeftijd  $L_{verwacht}(lft)$ :

$$f(lft) = \frac{L_{\text{geregistreerd}}(lft)}{L_{\text{verwacht}}(lft)} \quad (9.2)$$

In dit hoofdstuk wordt eerst het geregistreerd absoluut letselrisico als functie van de leeftijd,  $L_{\text{geregistreerd}}(lft)$ , bepaald met behulp van de geregistreerde aantallen bestuurders in ongevallen (*Paragraaf 9.1*). Voor de bepaling van het verwacht absoluut letselrisico naar leeftijd  $L_{\text{verwacht}}(lft)$  is het gemiddeld relatief massaverschil van ieder leeftijdsjaar nodig:  $\bar{\mu}(lft)$ .  $\bar{\mu}(lft)$  wordt bepaald in *Paragraaf 9.2*. Op basis van het gemiddeld relatief massaverschil wordt voor ieder leeftijdsjaar het verwacht absoluut letselrisico  $L_{\text{verwacht}}(lft)$  bepaald (*Paragraaf 9.3*). Ten slotte wordt het leeftijdseffect  $f(lft)$  bepaald (*Paragraaf 9.4*).

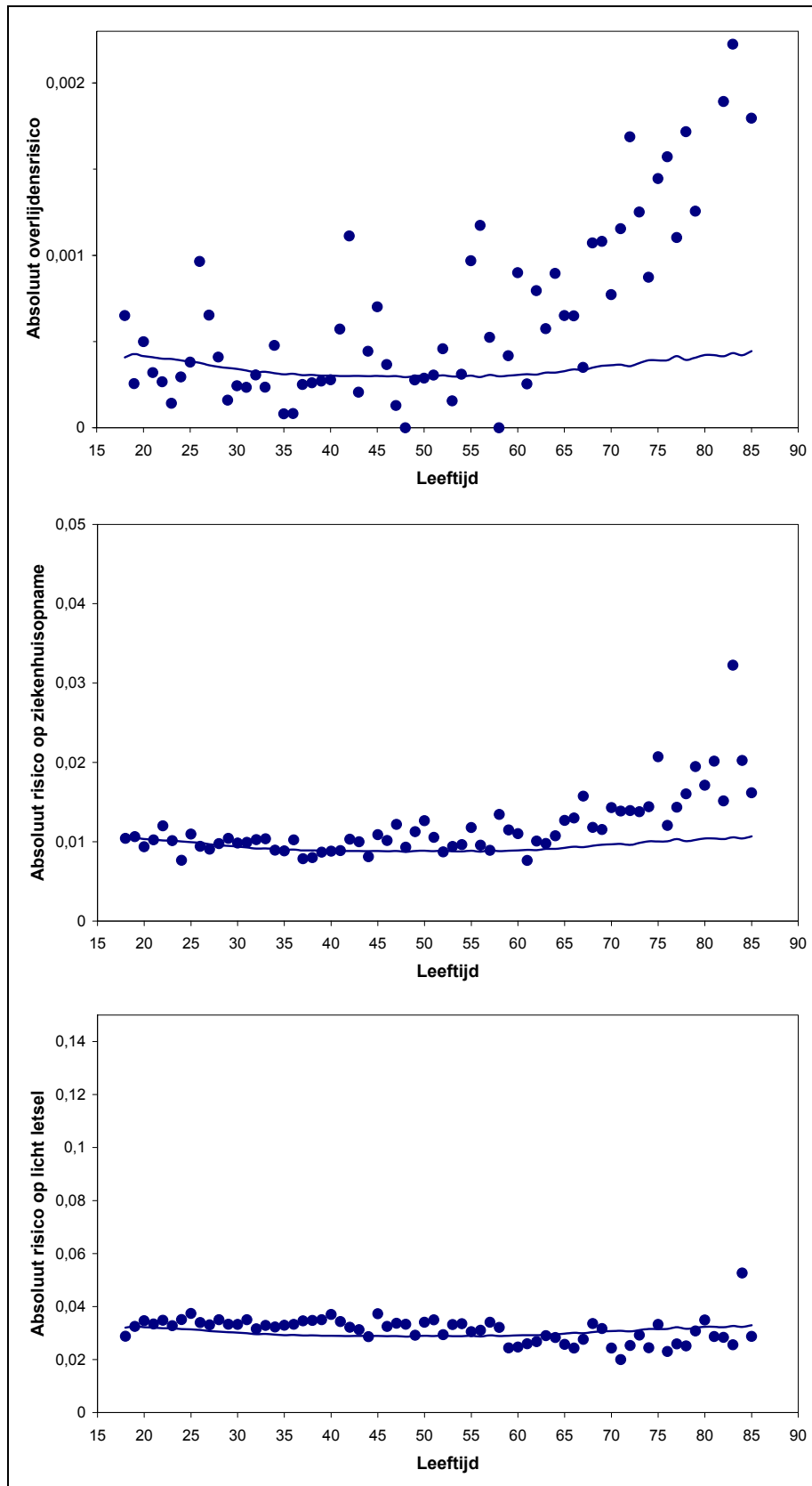
Om te onderzoeken of het verhoogde letselrisico onder oudere bestuurders verklaard kan worden door de relatieve massaverschillen en de leeftijd, worden de verwachte letselrisico's  $L$ , bepaald voor jongere en oudere bestuurders (*Paragraaf 9.5*) met behulp van de letselrisico's als functie van relatief massaverschil en leeftijd van de bestuurder  $L(\mu, lft)$ . Deze analyse is op dezelfde wijze uitgevoerd als de verwachte letselrisico's op basis van het relatief massaverschil (*Paragraaf 8.2*), waar geen rekening wordt gehouden met het leeftijdseffect.

#### 9.1. Absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder

In deze paragraaf wordt het absoluut risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel bij de bestuurder als functie van de leeftijd van de bestuurder (en tevens slachtoffer) bepaald,  $L(lft)$ .  $L(lft)$  is de leeftijdsverdeling van slachtoffers gedeeld door de leeftijdsverdeling van alle bestuurders in ongevallen (zie *Vergelijking 3.12*):

$$L(lft) = \frac{V_{\text{letsel}}(lft)}{V_{\text{alle}}(lft)}$$

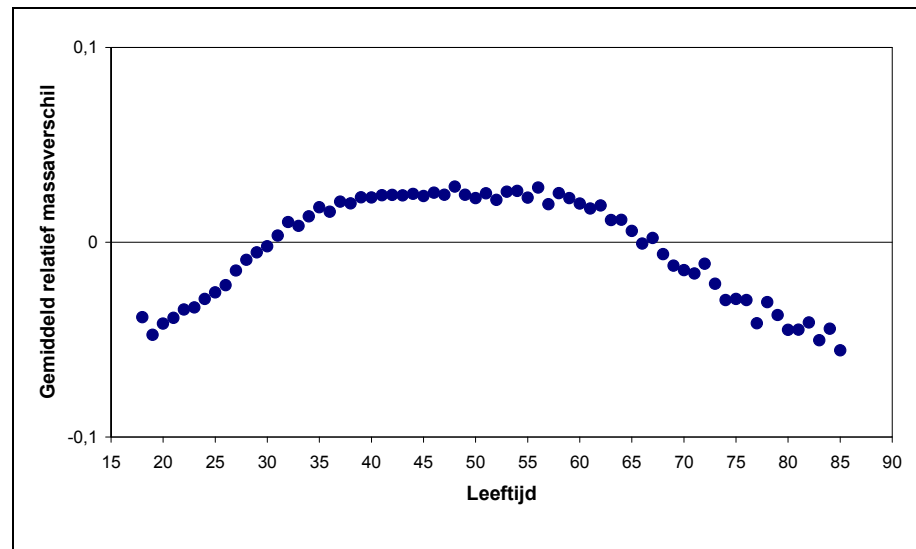
Het absoluut risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel als functie van de leeftijd van de bestuurder is weergegeven in *Afbeelding 9.1* (de cirkels; de doorgetrokken lijnen worden besproken in *Paragraaf 9.3*). Het absoluut overlijdensrisico (bovenste paneel) is vrijwel constant tot ongeveer 55 jaar. Daarna neemt het absoluut overlijdensrisico sterk toe met de leeftijd. Ook het absoluut risico op ziekenhuisopname (middelste paneel) is vrijwel constant tot ongeveer 55 jaar en neemt daarna toe met de leeftijd. De toename is kleiner dan bij het absoluut overlijdensrisico. Het absoluut risico op licht letsel (onderste paneel) is vrijwel constant tot ongeveer 55 jaar en daarna neemt dit risico licht af.



Afbeelding 9.1. De verwachte (doorgetrokken lijnen) en de berekende waarden (cirkels) voor het absoluut risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel als functie van de leeftijd van de bestuurder (2001-2006).

## 9.2. Gemiddeld relatief massaverschil naar leeftijd van de bestuurder

Het gemiddeld relatief massaverschil is bepaald per leeftijdsjaar voor alle bestuurders betrokken bij een auto-auto-ongeval:  $\bar{\mu}(lft)$  (zie *Afbeelding 9.2*). Tussen de 18 en de 39 jaar neemt het gemiddeld relatief massaverschil  $\bar{\mu}$  toe van -0,050 tot 0,024. Tussen de 40 en 59 jaar is het gemiddeld relatief massaverschil  $\bar{\mu}$  constant. Boven de 60 jaar neemt het af tot -0,055.



Afbeelding 9.2. De gemiddelde waarde voor het relatief massaverschil naar leeftijd van de bestuurder, indien betrokken bij een auto-auto-ongeval.

## 9.3. Verwacht absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder

Met behulp van het gemiddeld relatief massaverschil per leeftijdsjaar  $\bar{\mu}(lft)$  (*Paragraaf 9.2*) en het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $L(\mu)$  (*Paragraaf 5.3*) zijn de verwachte waarden berekend voor het absoluut risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel voor ieder leeftijdsjaar,  $L_{verwacht}(lft)$ . De verwachte absolute risico's zijn weergegeven als doorgetrokken lijnen in *Afbeelding 9.1*. De verwachte waarden zijn lager voor bestuurders in de leeftijdsgroep van 40 tot 60 jaar dan voor jongere en oudere bestuurders, omdat het gemiddeld relatief massaverschil voor deze groep hoger ligt dan voor jongere en oudere bestuurders. De verschillen tussen de verwachte letselrisico's voor verschillende leeftijden nemen toe met letselernst. In *Afbeelding 9.1* blijkt dit uit de kromming van de getrokken lijnen, die voor de bovenste grafiek (doden) groter is dan die voor de onderste grafiek (licht letsel). Dit is omdat het absoluut overlijdensrisico sterker afhangt van het relatief massaverschil dan het risico op ziekenhuisopname en licht letsel zie *Afbeelding 5.3*.

Het verwacht absoluut letselrisico (de doorgetrokken lijnen) wijkt sterk af van het geregistreerd absoluut letselrisico (de cirkels). De afwijking is het grootst voor de oudere bestuurders. De afwijking neemt toe met letselernst.

#### 9.4. Kwantitatief leeftijdseffect

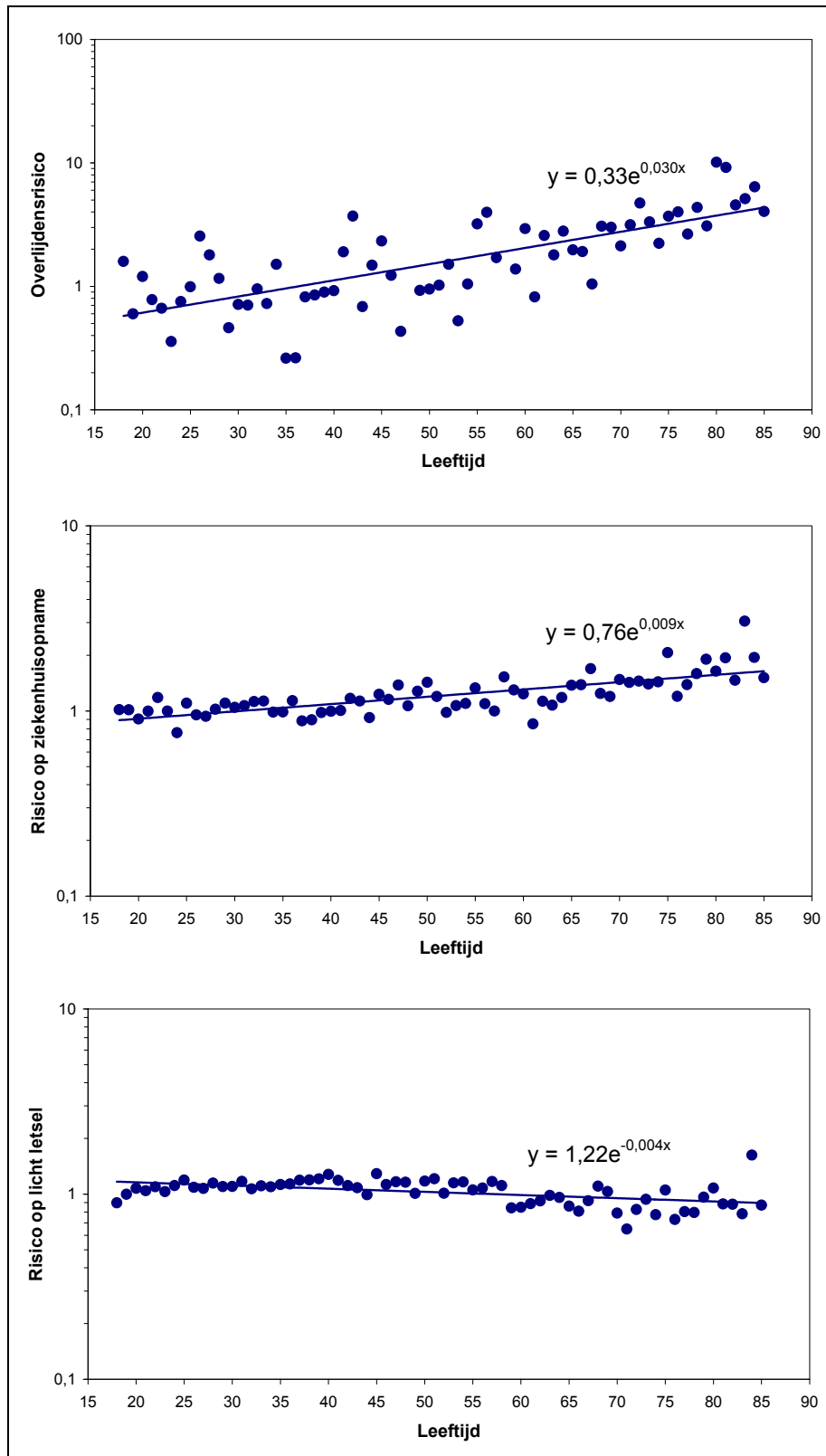
Het leeftijdseffect in het letselrisico,  $f(lft)$  is de verhouding tussen het waargenomen letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder (*Paragraaf 9.1*) en de op basis van het relatief massaverschil verwachte letselrisico als functie van de leeftijd (*Paragraaf 9.3*), zie *Vergelijking 9.2*. Aan het leeftijdseffect valt de jaarlijkse toename in het letselrisico door toegenomen fysieke kwetsbaarheid af te lezen.

Het leeftijdseffect voor overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel wordt getoond in *Afbeelding 9.3*. Het blijkt dat het leeftijdseffect van het letselrisico en het overlijdensrisico exponentiële functies van de leeftijd zijn, want het verband tussen de leeftijd en het leeftijdseffect volgt een rechte lijn wanneer de verticale as een logaritmische schaal heeft:

$$f(lft) = c \cdot \text{Exp}(b \cdot lft)$$

Uit het resultaat blijkt dat het overlijdensrisico toeneemt met 3% per leeftijdsjaar (de coëfficiënt  $b$  van de exponent is 0,030). Daardoor zit er ruim een factor zes verschil tussen het overlijdensrisico van een 20-jarige en een 80-jarige bestuurder wanneer ze betrokken zijn bij een auto-auto-ongeval met hetzelfde relatief massaverschil. Het risico op ziekenhuisopname neemt bijna 1% per leeftijdsjaar toe (de coëfficiënt van de exponent is 0,009). Daardoor loopt een 80-jarige bestuurder een factor 1,7 maal zo groot risico in het ziekenhuis opgenomen te worden dan een 20-jarige bestuurder wanneer zij betrokken zijn bij eenzelfde ongeval. Het risico op licht letsel neemt 0,4% per jaar af, wanneer een bestuurder ouder wordt. Deze afname wordt veroorzaakt door de toenemende kwetsbaarheid met leeftijd. Daardoor hebben oudere bestuurders vaker ernstig letsel en minder vaak licht letsel. Het risico op licht letsel neemt dus af met de leeftijd, terwijl het totale risico om slachtoffer te worden (dood, ziekenhuisopname of licht letsel) toch toeneemt. De toename van het totale risico om slachtoffer te worden is bepaald op 0,5% per leeftijdsjaar (niet weergegeven in een grafiek).





Afbeelding 9.3. Het leeftijdseffect voor het risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel. Dit is de verhouding tussen het geregistreeerde letselrisico, en dat wat verwacht wordt op basis van het gemiddeld relatief massaverschil. Merk op dat de verticale assen een logaritmische schaal hebben.

9.5. **Impact resultaten op het absoluut letselrisico van jongere, oudere en vrouwelijke bestuurders**

Analoog aan *Hoofdstuk 8* worden in deze paragraaf de verwachte waarden bepaald voor de letselrisico's onder jongere, oudere en vrouwelijke bestuurders. Het verschil met *Hoofdstuk 8* is dat er ditmaal rekening is gehouden met het leeftijdseffect. Dat is gedaan door voorspellingen te doen op basis van  $L(\mu, lft)$ .

Voor iedere bestuurder betrokken bij een auto-auto-ongeval (alle bestuurders binnen de onderzochte groep) zijn de letselrisico's voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en licht letsel) bepaald, afhankelijk van zijn of haar leeftijd en het relatief massaverschil tussen zijn of haar auto en die van de tegenpartij:  $L(\mu, lft)$ . De verwachtingswaarden van de aantallen slachtoffers kunnen berekend worden uit de risico's van de individuele bestuurders. De verwachtingswaarde van bijvoorbeeld het aantal doden is de sommatie van de overlijdensrisico's over alle bestuurders ( $N = 510.946$ ):

$$N_{dood} = \sum_{n=1}^{\text{alle bestuurders}} L_{\text{overlijden}}(\mu_n, lft_n)$$

De verwachtingswaarden voor de aantallen slachtoffers kunnen uitgesplitst worden naar geslacht of leeftijd. Bijvoorbeeld de verwachtingswaarde voor het aantal doden onder vrouwelijke bestuurders kan bepaald worden door de overlijdensrisico's te sommeren over alle vrouwelijke bestuurders ( $N = 165.721$ ), rekening houdend met de massa van de auto's waarin zij reden:

$$N_{dood} = \sum_{n=1}^{\text{alle vrouwen}} L_{\text{overlijden}}(\mu_n, lft_n)$$

In *Tabel 9.1* en *Tabel 9.2* worden de op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar geslacht en leeftijdsklasse gegeven.

Geslacht		Aantal slachtoffers		
		Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
Mannen	Verwacht	146	3.302	10.522
	Geregistreerd	175	2.922	8.848
Vrouwen	Verwacht	88	1.824	5.629
	Geregistreerd	59	2.202	7.320

Tabel 9.1. *De verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar geslacht voor de periode 2001-2006. Verwachtingen op basis van de relatieve massaverschillen en de leeftijd van de bestuurder.*

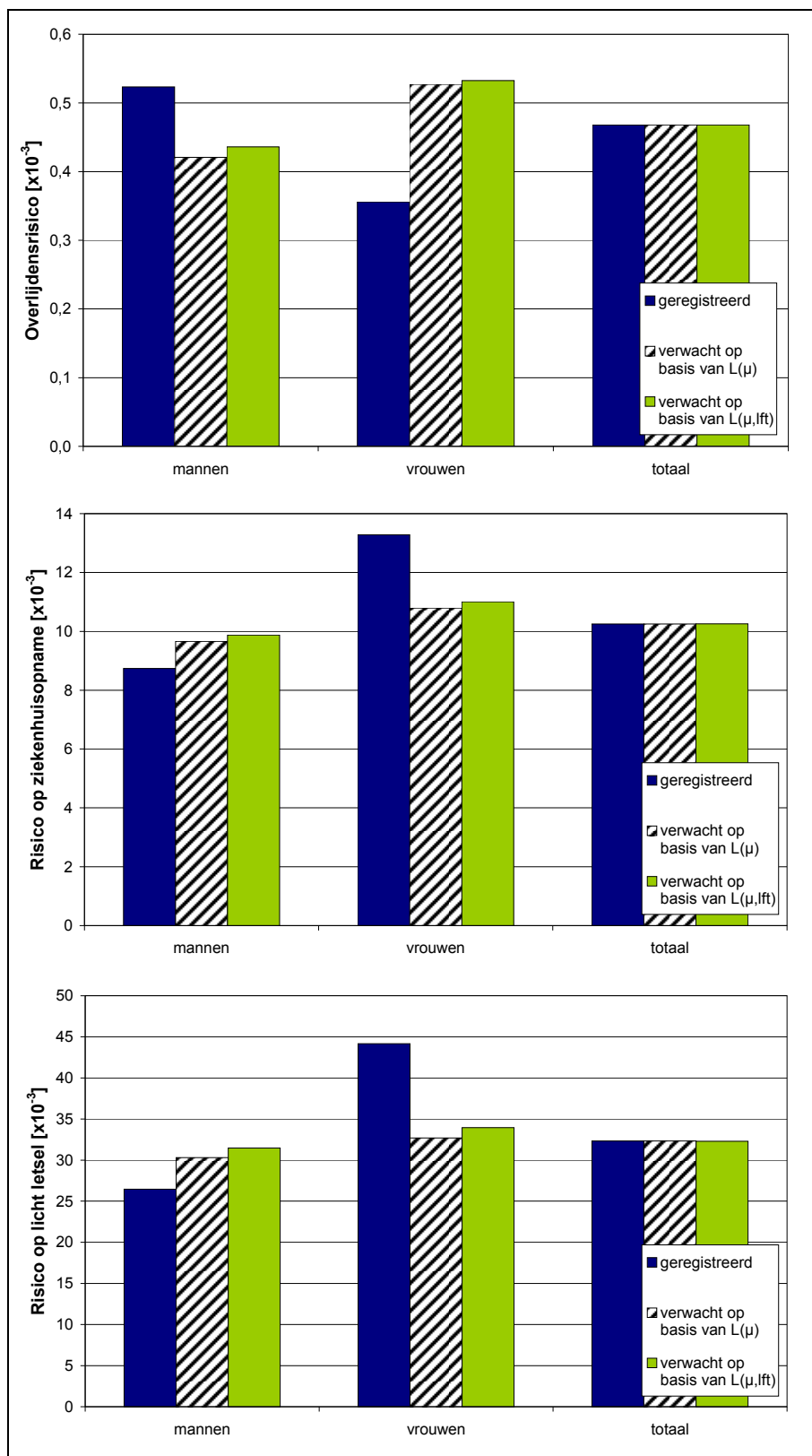
Leeftijdsklasse		Aantal slachtoffers		
		Dood	Ziekenhuis	Lichtgewond
Jongere 18 t/m 24 jaar	Verwacht	27	920	3.609
	Geregistreerd	32	982	3.266
Volwassene 25 t/m 39 jaar	Verwacht	60	1.755	6.165
	Geregistreerd	62	1.762	6.267
Volwassene 40 t/m 64 jaar	Verwacht	90	1.812	5.097
	Geregistreerd	79	1.713	5.401
Oudere 65+	Verwacht	57	639	1.280
	Geregistreerd	61	669	1.218

Tabel 9.2. De verwachte en de geregistreerde aantallen slachtoffers voor drie maten van letselernst (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) naar leeftijdsklasse voor de periode 2001-2006. Verwachtingen op basis van de relatieve massaverschillen en de leeftijd van de bestuurder.

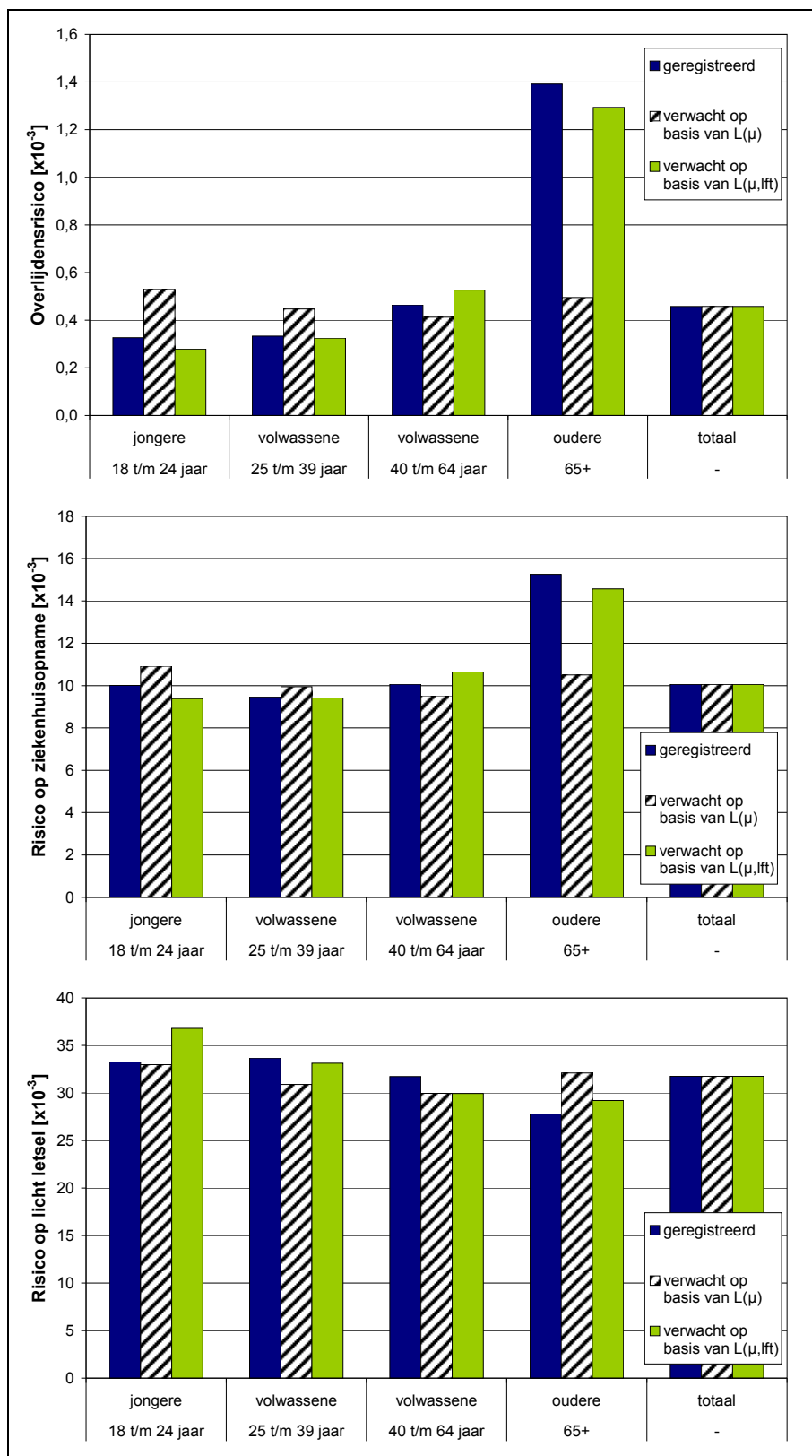
De op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel onder vrouwelijke en mannelijke bestuurders zijn weergegeven in *Afbeelding 9.4*. Ze zijn vergeleken met de absolute risico's bepaald uit de geregistreerde data en de op basis van  $L(\mu)$  verwachte absolute risico's, die ook zijn weergegeven in *Afbeelding 8.3*, zodat zichtbaar wordt in hoeverre automassa en leeftijd van de bestuurder samen de verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders beter verklaren dan verschillen in automassa alleen.

Het blijkt dat de op basis van relatieve massaverschillen en leeftijd van de bestuurder verwachte risico's op overlijden (0,00053), ziekenhuisopname (0,011) en licht letsel (0,034) voor vrouwelijke bestuurders nauwelijks afwijken van de op basis van alleen relatieve massaverschillen verwachte letselrisico's voor vrouwelijke bestuurders. Dit is omdat er slechts kleine verschillen in leeftijdsopbouw zijn tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders betrokken bij een auto-auto-ongeval. De aandelen jongeren van 18 t/m 24 jaar (17%) en ouderen vanaf 65 jaar (7%) onder vrouwelijke bestuurders zijn een fractie lager dan gemiddeld (20% jongeren en 9% ouderen). Het leeftijdseffect is dus geen effect dat bijdraagt aan de verschillen in letselrisico's tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders.

Het verschil in letselrisico tussen mannen en vrouwen kan derhalve niet worden verklaard uit massaverschillen en een verschil in leeftijdsopbouw. Het risico op dodelijk letsel onder vrouwen, verhoogd door het feit dat zij in lichtere auto's rijden, is nog steeds lager dan verwacht, terwijl dat voor mannen hoger is dan verwacht. Voor de niet-dodelijke letsels is dit andersom.



Afbeelding 9.4. Het geregisteerde en op basis van de relatieve massa-verschillen (en leeftijd van de bestuurder) verwachte absoluut letselrisico voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders voor de periode 2001-2006 en voor drie maten van letselernst: dood (bovenste grafiek), ziekenhuisopname (middelste grafiek) en licht letsel (onderste grafiek).



Abbeelding 9.5. Het geregistreerde en op basis van de relatieve massa-verschillen (en leeftijd van de bestuurder) verwachte absoluut letselrisico voor bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën voor de periode 2001-2006 en voor drie maten van letselernst: dood (bovenste grafiek), ziekenhuisopname (middelste grafiek) en licht letsel (onderste grafiek).

De op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte absolute letselrisico's voor bestuurders in vier leeftijdsklassen (jongeren 18-24 jaar, volwassenen 25-39 jaar, volwassenen 40-64 jaar en ouderen 65+) zijn weergegeven in *Afbeelding 9.5* tezamen met de op basis van  $L(\mu)$  verwachte absolute letselrisico's en de geregistreerde absolute letselrisico's. Die laatste twee waren ook al in *Afbeelding 8.4* gegeven. De op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte absolute risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel voor jongere bestuurders zijn respectievelijk 0,00028, 0,0094 en 0,037. Dit patroon komt goed overeen met de geregistreerde absolute letselrisico's, namelijk 0,00033, 0,010 en 0,033. De op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte absolute letselrisico's voor oudere bestuurders (0,0013, 0,015 en 0,029) komen ook goed overeen met de geregistreerde risico's (0,0014, 0,015 en 0,028). De op basis van  $L(\mu, lft)$  verwachte absolute risico's komen veel beter overeen met de geregistreerde risico's dan de op basis van  $L(\mu)$  verwachte absolute letselrisico's.

Het leeftijdseffect in combinatie met het effect van het relatief massaverschil verklaart de verschillen in letselrisico's tussen bestuurders in verschillende leeftijdscategorieën. Dit volgt uit de goede overeenstemming tussen de exponentiële leeftijdafhankelijkheid van  $f(lft)$  en de data (*Afbeelding 9.3*)

## 9.6. Vrouwelijke bestuurders (discussie)

In deze paragraaf wordt een aantal alternatieve verklaringen besproken voor het lage overlijdensrisico van vrouwelijke bestuurders in auto-auto-ongevallen, en het tegelijkertijd hogere overlijdensrisico voor mannen.

Een mogelijkheid is dat vrouwen minder vaak met hoge snelheid rijden. Dat kan als ze vaker binnen de bebouwde kom rijden of als ze zich beter aan de maximumsnelheid houden. Van de vrouwelijke bestuurders geanalyseerd in dit onderzoek is 23,4% betrokken bij een ongeval buiten de bebouwde kom en van de mannelijke bestuurders 26,6%. Het verschil is klein en kan maar een geringe bijdrage aan de verklaring leveren. Gegevens over snelheids-overtredingen (van het Centraal Justitieel Incassobureau CJIB) zijn naar geslacht beschikbaar voor de staandehoudingen (circa 2% van het totale aantal snelheidsovertredingen). Van de staandehoudingen in 2006 was 23,3% van de snelheidsovertredingen begaan door een vrouw (35.404 van de 152.209), terwijl vrouwen 29,5% van de bestuurderskilometers per auto aflegden (27,7 van de 93,3 miljard kilometer). Vrouwen werden dus ruim 20% minder vaak staande gehouden voor snelheidsovertredingen per afgelegde bestuurderskilometer dan gemiddeld. Dit is een aanwijzing dat vrouwen inderdaad minder vaak te hard rijden dan mannen.

Het is denkbaar dat vrouwen vaker gordels dragen dan mannen. De gegevens over gordels (DVS) zijn niet naar geslacht beschikbaar.

Vrouwelijke bestuurders rijden wellicht gemiddeld in nieuwere auto's dan mannelijke bestuurders, waar meer veiligheidsvoorzieningen in aanwezig zijn. Dit blijkt nauwelijks waar, want het gemiddelde bouwjaar voor mannelijke bestuurders is 1995,2 en voor vrouwelijke bestuurders 1995,5.

Een andere mogelijkheid is dat de aard van het ongeval van invloed is. Het risico op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel is bepaald voor iedere geregistreerde ongevalsaard (zie *Tabel 9.3*). Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de betrouwbaarheid van het ongevalskenmerk 'aard ongeval' in

BRON discutabel is, omdat deze sinds 2004 afgeleid wordt, in plaats van direct gecodeerd. Wanneer ervan uitgegaan wordt dat de gegevens kloppen, blijkt het volgende. Een bestuurder in een flankbotsing overlijdt driemaal zo vaak als gemiddeld over alle 'aard ongeval' en wordt tweemaal zo vaak in het ziekenhuis opgenomen. Een bestuurder in een parkeerongeval overlijdt tienmaal minder vaak dan gemiddeld, terwijl hij of zij driemaal minder vaak dan gemiddeld in het ziekenhuis wordt opgenomen. Hier zou dus een verklaring kunnen liggen, wanneer vrouwelijke bestuurders betrokken zijn bij ongevallen van andere aard dan mannelijke bestuurders. De verdeling van de aard van de ongevallen is daarom bepaald voor alle bestuurders in auto-auto-ongevallen en voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders apart (zie *Tabel 9.4*). Er zijn kleine verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders. Vrouwelijke bestuurders hebben vaker dan mannelijke bestuurders parkeerongevallen (dit zijn alle ongevallen die tijdens in- en uitparkeren plaatsvinden plus ongevallen op parkeerterreinen), terwijl mannelijke bestuurders vaker flankbotsingen en kop-staartbotsingen hebben. Doordat er maar kleine verschillen zijn tussen de aard van de ongevallen van mannelijke en vrouwelijke bestuurders, kunnen deze maar een geringe bijdrage leveren aan een verklaring voor het verschil in overlijdensrisico tussen mannelijke en vrouwelijke bestuurders.

Aard ongeval	N	Risico op		
		Overlijden	Ziekenhuisopname	Licht letsel
Geparkeerd	65.718	0,00004	0,0026	0,0080
Frontaal	84.446	0,00139	0,0204	0,0449
Flank	151.043	0,00063	0,0122	0,0331
Kop-staart	194.142	0,00007	0,0063	0,0335
Onbekend	4.658	0,00046	0,0102	0,0323

*Tabel 9.3. De letselrisico's voor verschillende maten van letsel (dood, ziekenhuisopname en lichtgewond) in auto-auto-ongevallen voor verschillende aard van de ongevallen (bron: BRON-Ministerie van VenW). Dit geeft slechts een indicatie van de verdeling, omdat de betrouwbaarheid van de aard van het ongeval in BRON discutabel is.*

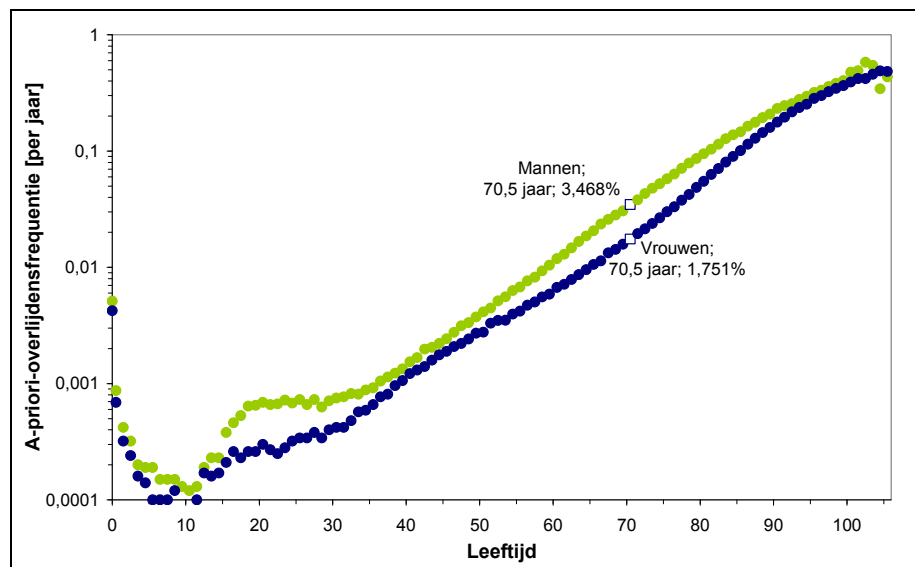
Aard ongeval	Percentage 'aard ongeval' onder		
	Mannen N = 334.286	Vrouwen N = 165.721	Alle bestuurders
Geparkeerd	12,0%	15,5%	13,1%
Frontaal	16,9%	16,9%	16,9%
Flank	30,9%	28,7%	30,2%
Kop-staart	39,2%	38,1%	38,8%
Onbekend	1%	0,8%	0,9%

*Tabel 9.4. De verdeling van de aard van het ongeval voor mannelijke en vrouwelijke bestuurders en voor alle bestuurders samen in auto-auto-ongevallen (bron: BRON-Ministerie van VenW). Dit geeft slechts een indicatie van de verdeling, omdat de betrouwbaarheid van 'aard ongeval' in BRON discutabel is.*

Ten slotte is er nog de mogelijkheid dat vrouwen fysiek sterker zijn dan mannen, zodat zij minder snel overlijden bij gelijke botsingsernst. Inderdaad wijst de overlijdensstatistiek uit dat mannen op elke willekeurige leeftijd een hogere a-priori-overlijdensfrequentie hebben dan vrouwen (hetgeen samenhangt met het feit dat vrouwen gemiddeld enkele jaren ouder worden dan mannen), zie *Afbeelding 9.6*. De a-priori-overlijdensfrequentie is de overlijdensfrequentie zonder dat gedragsverschillen in rekening zijn gebracht.

Indien dit inderdaad een deel van de verklaring is voor het lage risico op dodelijk letsel voor vrouwen, en het hoge risico voor mannen, dan is daarmee nog geen verklaring gevonden voor het omgekeerde verschijnsel bij niet-dodelijk letsel: het hogere risico op ernstig of licht letsel voor vrouwen, en het lagere risico voor mannen.

De gegevens uit *Tabel 9.1* zijn overigens in tegenspraak met gegevens over de letselernst van mannelijke en vrouwelijke bestuurders die met ernstig letsel zijn opgenomen in een ziekenhuis. Uit die gegevens blijkt dat het aandeel gewonden met ten minste zeer ernstig letsel (MAIS4+) onder mannen groter is dan onder vrouwen. Uit die gegevens volgt dus niet dat vrouwen gemakkelijker gewond raken dan mannen.



Afbeelding 9.6. A-priori-overlijdensfrequentie van mannen en vrouwen in Nederland (CBS, [www.statline.nl](http://www.statline.nl)). Als voorbeeld zijn de gegevens voor 70-jarigen uitgelicht.

## 9.7. Conclusies

Door het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd te corrigeren voor het effect van het relatief massaverschil (en de bijbehorende secundaire-veiligheidscomponenten) was het mogelijk om de toename van kwetsbaarheid met de leeftijd (het leeftijdseffect,  $f(lft)$ ) te bepalen. Het overlijdensrisico neemt per leeftijdsjaar exponentieel toe met 3% door toename van de fysieke kwetsbaarheid. Voor het risico op ziekenhuisopname is de exponentiële toename bijna 1% per leeftijdsjaar. Het risico op licht letsel neemt exponentieel met 0,4% per leeftijdsjaar af.



Met behulp van het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder en het relatief massaverschil,  $L(\mu, lft)$  is het goed mogelijk om de risico's op overlijden, ziekenhuisopname en licht letsel voor jongere en oudere bestuurders te verklaren. Dit geldt niet voor de letselrisico's voor vrouwelijke bestuurders. Het is met behulp van het relatief massaverschil en leeftijd niet mogelijk om de hoge risico's op ziekenhuisopname en licht letsel en de lage overlijdensrisico's voor vrouwelijke bestuurders te verklaren.

## 10. Conclusies en aanbevelingen

### 10.1. Conclusies

Het doel van dit onderzoek is het kwantitatief bepalen van de invloed van automassa (inclusief de bijbehorende aanwezigheidsniveaus van secundaire-veiligheidscomponenten) op het letselrisico en het overlijdensrisico bij botsingen tussen twee personenauto's in Nederland, zodat het mogelijk is om de impact van verschillen in automassa op de verkeersveiligheid te bepalen.

Volgens de fysicawetten is alleen de verhouding tussen beide automassa's van invloed op het letselrisico en de letselernst, en niet de grootte van de massa's zelf. Daarom is het absoluut letselrisico bepaald als functie van het *relatief* massaverschil. Dit is gedaan voor drie maten van letselernst. Het absoluut letselrisico is gedefinieerd als het risico dat een bestuurder loopt om gewond te raken, wanneer hij of zij betrokken is bij een ongeval. Het absoluut letselrisico kan bepaald worden door het aantal keer (de frequentie) dat het voorkomt dat een bestuurder letsel heeft ( $f_{letsel}$ ) te delen door het aantal keer dat er een bestuurder betrokken is bij een ongeval ( $f_{ongeval}$ ).

Het massaverschil gedeeld door de som der massa's, het zogeheten relatief massaverschil, is een maat voor de verschillen in automassa tussen de twee auto's betrokken bij één ongeval. Deze maat is zeer bruikbaar gebleken voor dit onderzoek. Het relatief massaverschil kan overigens eenvoudig worden omgerekend naar de massaverhouding.

De absolute letselrisico's als functie van het relatief massaverschil blijken exponentieel van vorm met coëfficiënt -4,87 voor het overlijdensrisico, -2,40 voor het risico op ziekenhuisopname en -1,60 voor het risico op lichtgewond te raken. Bij een relatief massaverschil van -0,1 (bijvoorbeeld bij een eigen massa van 900 kg en een massa van de tegenpartij van 1.100 kg) is het overlijdensrisico een factor 1,6 ( $e^{-0,1 \cdot -4,87}$ ) hoger dan bij een relatief massaverschil van 0 (gelijke massa). Voor het risico op ziekenhuisopname is dat een factor 1,3 en voor het risico op licht letsel een factor 1,2.

Het lager absoluut letselrisico bij een voor de bestuurder gunstiger massaverschil heeft gevolgen voor de totale verkeersveiligheid. Meer spreiding in massa leidt tot meer verkeersdoden. Wanneer alle massa's van personenauto's gelijk zouden zijn, zou er een kwart minder doden onder bestuurders vallen in ongevallen tussen twee personenauto's. In 2006 zouden er dan tien verkeersdoden minder zijn gevallen onder bestuurders. Daarnaast zouden er ook minder doden vallen onder passagiers.

De gemiddelde massa van het personenautopark neemt toe met 15 kg per jaar sinds 1999. De spreiding in massa neemt ieder jaar meer toe. Het effect van de toenemende spreiding in automassa op het totale aantal verkeersdoden in Nederland is beperkt, maar niet verwaarloosbaar. De relatieve spreiding van massa (= spreiding/gemiddelde massa) in het wagenpark is lineair toegenomen met ongeveer 0,15% per jaar tot circa 25% in 2006. Dat wil zeggen, dat een willekeurige auto gemiddeld 25% in massa verschilt van de gemiddelde automassa. De toenemende spreiding in massa in het wagenpark heeft als gevolg dat de spreiding in het relatief massaverschil

van twee auto's die bij een ongeval betrokken waren jaarlijks gemiddeld met 0,0012 toenam. Wanneer de spreiding in het relatief massaverschil lineair zou blijven toenemen, dan is de verwachting dat er in 2010 onder auto-bestuurders één extra dode valt te betreuren en vijf extra ziekenhuisopnamen. In 2020 zouden dat drie extra doden zijn en 21 extra ziekenhuisopnamen. Daarnaast zouden er ook nog extra doden en ziekenhuisopnamen zijn onder de passagiers. De berekening is uitgevoerd ten opzichte van de onveiligheid in 2006. Er is geen rekening gehouden met veranderingen in de algehele veiligheid in 2010 en 2020.

Secundaire-veiligheidscomponenten (bijvoorbeeld gordelspanners of zijairbags) zijn gemiddeld genomen in grotere mate aanwezig in zwaardere auto's dan in lichtere auto's, waardoor de invloed van het relatief massaverschil op het absoluut letselrisico in lichte mate overschat wordt. Minder dan een tiende deel van het effect van het relatief massaverschil op het absoluut overlijdensrisico wordt verklaard door de automassa zelf, en daaraan gerelateerde secundaire-veiligheidscomponenten. Voor het absoluut risico op ziekenhuisopname en op licht letsel zijn deze aandelen wat groter, namelijk een vijfde en een vierde.

Uit de analyse van auto-auto-ongevallen en parkcijfers blijkt het volgende over specifieke groepen verkeersdeelnemers:

- Vrouwen, jongeren (18-24 jaar) en ouderen (65+) rijden in lichtere auto's dan gemiddeld (respectievelijk 70, 82 en 53 kg minder dan gemiddeld).
- Vrouwelijke bestuurders hebben een hoger risico op ziekenhuisopname en licht letsel dan mannelijke bestuurders (52% en 67% hoger), maar hebben een lager overlijdensrisico (-24%), wanneer zij bij een ongeval tussen twee personenauto's betrokken zijn.
- Oudere bestuurders hebben vaker en ernstiger letsel dan gemiddeld, in een ongeval tussen twee personenauto's. Daardoor hebben zij een verhoogd risico op ziekenhuisopname en overlijden (48% en 196% hoger dan gemiddeld) en een iets verlaagd risico op licht letsel (14% lager dan gemiddeld).
- Jongere bestuurders hebben relatief vaak letsel, doordat zij relatief vaak betrokken zijn bij een ongeval tussen twee personenauto's. Zij hebben echter een gemiddeld risico op ziekenhuisopname en licht letsel en zelfs een lager dan gemiddeld overlijdensrisico (-31%).

Het relatief hoge letselrisico voor vrouwelijke bestuurders, het hoge letsel- en overlijdensrisico voor oudere bestuurders en het lage overlijdensrisico voor jongere bestuurders kan gedeeltelijk verklaard worden door de relatief-massaverschilverdelingen onder deze subgroepen. Oudere bestuurders hebben echter een (nog) hoger, en jongere bestuurders een lager risico op overlijden of ziekenhuisopname dan op basis van deze massaverschilverdeling wordt verwacht  $L(\mu)$ . Dit hangt samen met een toename van de fysieke kwetsbaarheid met de leeftijd (leeftijdseffect).

Het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder en het relatief massaverschil  $L(\mu, lft)$  is bepaald. De toename van het totale risico om slachtoffer te worden, gegeven een aanrijding tussen twee personenauto's en gecorrigeerd voor de verschillen in automassa, is 0,5% per leeftijdsjaar door toename van fysieke kwetsbaarheid. Het overlijdensrisico en het risico op ziekenhuisopname nemen fors toe met 3% en 1% per leeftijdsjaar; daardoor neemt het risico op licht letsel zelfs licht af met 0,4%

per leeftijdsjaar. Met behulp van het absoluut letselrisico als functie van de leeftijd van de bestuurder en het relatief massaverschil is het goed mogelijk om de letselrisico's voor jongere en oudere bestuurders te verklaren. Dit geldt niet voor de letselrisico's voor vrouwelijke bestuurders. Het is met behulp van het relatief massaverschil en de leeftijd niet mogelijk om de hoge risico's op ziekenhuisopname en licht letsel en het lage overlijdensrisico voor vrouwelijke bestuurders te verklaren. Mogelijke verklaringen voor dit vreemde risicopatroom zijn de volgende. Vrouwelijke bestuurders overtreden minder vaak de snelheid waardoor zij gemiddeld een lagere snelheid hebben bij aanrijdingen. Vrouwelijke bestuurders dragen misschien vaker gordels dan mannelijke bestuurders.

## 10.2. Mogelijkheden voor verder onderzoek

*Hoofdstuk 9* kan worden gezien als eerste aanzet voor een analyse waarin massa(verschil) en leeftijd worden meegenomen. Het past niet binnen de reikwijdte van dit onderzoek om hier verder op in te gaan, maar het zou beter zijn om een multivariate analyse uit te voeren met het relatief massaverschil, de automassa en de leeftijd van de bestuurder als variabelen. Deze analyse kan afhankelijk van de beschikbaarheid van data uitgebreid worden met:

- gordeldracht;
- type aanrijding (parkeren, frontaal, flank, kop-staart);
- bouwjaar auto;
- letselernst passagiers;
- aanwezigheid van secundaire-veiligheidsvoorzieningen (airbags, stijfheid, en dergelijke).

Voor modelontwikkeling zijn deze analyses aanbevolen wanneer de benodigde data beschikbaar zijn. Met name het type aanrijding lijkt erg belangrijk te zijn, zie *Paragraaf 9.6*. Het letsel- en overlijdensrisico zijn groter bij frontale botsingen dan bij kop-staartaanrijdingen en parkeerongevallen, omdat bij frontale botsingen de snelheidsverschillen gemiddeld veel groter zijn. En snelheidsverschillen zijn bepalend voor de letselrisico's (zie *Paragraaf 2.2*). Eigenlijk zouden daarom alle analyses per aard van het ongeval moeten worden uitgevoerd. Dit is een groot probleem, omdat de aard van het ongeval niet goed bepaald is in BRON. Er zou dus eerst een betere methode moeten worden opgezet om de aard van het ongeval te bepalen en dan alle analyses opnieuw uit te voeren.

## 10.3. Aanbevelingen

Bij botsingen tussen twee personenauto's wordt 25% van de verkeersdoden onder bestuurders veroorzaakt door massaverschillen tussen de beide auto's. Deze bevinding bevestigt de noodzaak om de compatibiliteit tussen verschillende typen personenauto's te verbeteren. Het is nodig om technologische oplossingen voor de voertuigstructuur te vinden die de verschillen in automassa tenietdoen (Martin & Lenguerrand, 2008). In constructieve termen betekent dit dat zware, grote voertuigen minder stijf moeten worden gemaakt (voor zover dat al kan met behoud van dezelfde massa) en dat kleine, lichte voertuigen zodanig stijf moeten zijn dat bij een botsing met een zwaardere auto, de kreukelzones van beide auto's optimaal benut worden (Van Kampen, 2000). Hierdoor wordt dan in elk geval voorkomen dat de kreukelzone van de zware auto slechts ten dele benut

wordt, terwijl dit bij de lichte auto wel gebeurt, en ook de kooiconstructie nog energie moet opnemen. De essentie van compatibel gedrag is immers: de structuurdelen die elkaar raken moeten op elkaar afgestemde sterkte en stijfheidseigenschappen hebben. Hoe deze afstemming moet worden bereikt dient onderwerp te zijn van meer onderzoek.

## Literatuur

- CBS (1985 e.v.). *Motorvoertuigen: statistiek van het Nederlandse motorvoertuigenpark*. Gedownload van: [www.statline.nl](http://www.statline.nl).
- Brabander, B. de (2005). *Determinanten van de letselernst bij verkeersongevallen*. RA-2005-51. Steunpunt Verkeersveiligheid, Diepenbeek.
- Evans, L. (1991). *Traffic safety and the driver*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Evans, L. (1994). *Driver injury and fatality risk in two-car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian mechanics*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 26, nr. 5, p. 609-616.
- Evans, L. & Frick, M.C. (1993). *Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 25, nr. 2, p. 213-224.
- Evans, L. & Gerrish, P.H. (2001). *Gender and age influence on fatality risk from the same physical impact determined using two-car crashes*. In: Proceedings of SAE 2001 World Congress, March 2001, Detroit, 2001-01-1174.
- FNV (2008). *Loonwijzer enquête*. Gedownload van: [www.loonwijzer.nl/home](http://www.loonwijzer.nl/home).
- Fredette, M., et al. (2008). *Safety impacts due to the incompatibility of SUVs, minivans, and pickup trucks in two-vehicle collisions*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 6, p. 1987-1995.
- Gadd, C.W. (1966). *Use of a weighted-impulse criterion for estimating injury hazard*. In: Proceedings of Tenth Stapp Car Crash Conference 10, 8-9 November 1966, New York, SAE Paper 660793.
- Hoogvelt, R.B.J., et al. (2004). *Impact of Sports Utility Vehicles on traffic safety and the environment in the Netherlands*. TNO Automotive, Delft.
- Kampen, L.T.B. van (2000). *De invloed van voertuigmassa, voertuigtype en type botsing op de ernst van het letsel*. R-2000-10. SWOV, Leidschendam.
- Kampen, L.T.B. van (2003). *Het ledig gewicht van motorvoertuigen*. R-2003-35. SWOV, Leidschendam.
- Kampen, L.T.B. van, Krop, W.R.M. & Schoon, C.C. (2005). *Auto's om veilig mee thuis te komen : de prestaties van de personenauto op het gebied van de voertuigveiligheid in de afgelopen decennia, en een blik vooruit*. SWOV, Leidschendam.
- Kockelman, K.M. & Kweon, Y.J. (2002). *Driver injury severity: an application of ordered probit models*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 34, nr. 3, p. 313-321.
- Koornstra, M.J. (1999). *Duurzaam-veilig wegverkeer en de nieuwe normmens*. D-98-13. SWOV, Leidschendam.

Mackay, M. (1988). *Crash protection in older persons*. In: Transportation in an aging society: Improving mobility and safety for older persons. Special report 218, p. 158-194.

Martin, J.L. & Lenguerrand, E. (2008). *A population based estimation of the driver protection provided by passenger cars: France 1996–2005*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 6, p. 1811-1821.

O'Donnell, C.J. & Connor, D.H. (1996). *Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 28, nr. 6, p. 739-753.

RDC automotive (2008). *Market monitor*. Gedownload van: [www.rdc.nl](http://www.rdc.nl).

Rice, J.A. (1995). *Mathematical statistics and data analysis*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.

Rumar, K. (2000). *Road safety and benchmarking*. In: Transport benchmarking: methodologies, applications and data needs; Proceedings of the Paris conference, November 1999, p. 97-111.

SWOV (2008). *Jonge beginnende automobilisten*. SWOV-factsheet november 2008. SWOV, Leidschendam.

Ulfarsson, G.F. & Mannering, F.L. (2004). *Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 36, nr. 2, p. 135-147.

Verbond van Verzekeraars (2006). *Verzekerd van cijfers 2006*. Verbond van Verzekeraars, 's-Gravenhage.

Wegener DM (2008). *De grote consumentenenquête*. Gedownload van: [www.nationaleconsumentenenquête.nl](http://www.nationaleconsumentenenquête.nl).

Wood, D.P. (1997). *Safety and the car size effect: A fundamental explanation*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 29, nr. 2, p. 139-151.





## Bijlagen 1 t/m 5

- 1 *Gemiddelde vertraging tijdens een botsing*
- 2 *Exponentieel dalend letselrisico*
- 3 *Prognoses van de aantallen slachtoffers*
- 4 *Omrekenen naar het relatief letselrisico*
- 5 *Verwachte aantallen slachtoffers naar leeftijd en geslacht*



## Bijlage 1

## Gemiddelde vertraging tijdens een botsing

Gedurende een botsing tussen twee personenauto's hebben beide auto's een verschillende vertraging (= negatieve versnelling). Deze versnelling is niet gedurende de hele botsing gelijk, maar neemt eerst toe en vervolgens weer af. Er is dus een piek. Hier bepalen we voor iedere auto de gemiddelde versnelling (een middeling over de tijd), omdat de letselernst afhangt van de gemiddelde versnelling tijdens de botsing (Gadd, 1966).

We gaan uit van een 'modelbotsing'. We stellen ons een aanrijding voor tussen twee auto's met massa's  $m_1$  en  $m_2$ , die vóór de botsing met snelheid  $\vec{v}_1$  en  $\vec{v}_2$  reden ( $\vec{v}_1$  en  $\vec{v}_2$  zijn vectoren). Tijdens de botsing treedt vervorming op, waarbij energie verloren gaat en de snelheidsverschillen worden vereffend. Beide auto's rijden na een botstijd  $\Delta t$  met (nagenoeg) gelijke snelheid  $\vec{v}_{na}$  verder met 'gezamenlijke massa'  $\Sigma m = m_1 + m_2$ , en komen uiteindelijk tot stilstand. De wet van impulsbehoud houdt in dat de impuls voor en na de botsing gelijk moet zijn. De impulsbalans vóór en na het tijdsinterval  $\Delta t$  luidt:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_{na} = \Sigma m \cdot \vec{v}_{na} \quad (\text{B1.1})$$

Daaruit volgt:

$$\vec{v}_{na} = \frac{m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2}{\Sigma m} \quad (\text{B1.2})$$

Het snelheidsverval tijdens de botsing voor auto 1 bedraagt:

$$\Delta \vec{v}_1 = \vec{v}_{na} - \vec{v}_1 = \frac{m_2 \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Sigma m} \quad (\text{B1.3})$$

Evenzo voor auto 2:

$$\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_{na} - \vec{v}_2 = \frac{m_1 \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)}{\Sigma m} \quad (\text{B1.4})$$

De stoot die inzittenden van auto 1 ondervinden is:

$$\vec{S}_1 = \int \vec{F}_1 dt \quad (\text{B1.5})$$

In deze bijlage gaan we de gemiddelde versnelling  $\vec{\bar{a}}_1$  uitrekenen, daarom kunnen we ook met de gemiddelde kracht  $\vec{\bar{F}}_1$  werken. De stoot is dan:

$$\vec{S}_1 = \vec{\bar{F}}_1 \cdot \Delta t \quad (\text{B1.6})$$

Gedurende botsingen kan de stoot ook beschouwd worden als de verandering in impuls van de auto:

$$\vec{S}_1 = \Delta \vec{p}_1 \quad (\text{B1.7})$$

en dus

$$\vec{F}_1 \cdot \Delta t = \Delta(m_1 \cdot \vec{v}_1) = m_1 \cdot \Delta \vec{v}_1 \quad (\text{B1.8})$$

De gemiddelde versnelling gedurende de botsing kan bepaald worden met behulp van de stoot:

$$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m_1} = \frac{\vec{F}_1 \cdot \Delta t}{m_1 \cdot \Delta t} = \frac{m_1 \cdot \Delta \vec{v}_1}{m_1 \cdot \Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{m_2 \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Sigma m \cdot \Delta t} \quad (\text{B1.9})$$

Hetzelfde geldt voor auto 2:

$$\vec{a}_2 = \frac{m_1 \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)}{\Sigma m \cdot \Delta t} \quad (\text{B1.10})$$

Uit *Vergelijkingen B1.9 en B1.10* blijkt dat de gemiddelde versnelling tijdens een botsing afhangt van de massa van de tegenpartij en de som van beide massa's. Verder hangt de gemiddelde versnelling tijdens de botsing af van de duur van de botsing  $\Delta t$  en het verschil in snelheden.

## Bijlage 2

## Exponentieel dalend letselrisico

Het absoluut letselrisico als functie van het relatief massaverschil  $\mu$  wordt berekend uit de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders in auto-auto-ongevallen en de relatief-massaverschilverdeling voor letselsslachtoffers in auto-auto-ongevallen.

De relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders in auto-auto-ongevallen is een normale verdeling met gemiddelde nul en breedte  $\sigma$ :

$$RMVV_{alle} = C_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{\mu^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (\text{B2.1})$$

Waarbij  $C_1$  een constante is.

De relatief-massaverschilverdeling voor letselsslachtoffers in auto-auto-ongevallen is een normale verdeling met gemiddelde  $\mu_{letsel}$  en met dezelfde breedte als de relatief-massaverschilverdeling voor alle bestuurders,  $\sigma$  (zie *Tabel 5.1*):

$$RMVV_{letsel} = C_2 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(\mu - \mu_{letsel})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (\text{B2.2})$$

Waarbij  $C_2$  een constante is.

Het absoluut letselrisico  $L$  is de verhouding tussen bovenstaande relatief-massaverschilverdelingen (zie *Paragraaf 3.4.4*):

$$L = \frac{RMVV_{letsel}}{RMVV_{alle}} = \frac{C_2 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(\mu - \mu_{letsel})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}{C_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{\mu^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}$$

Dit kan worden vereenvoudigd tot:

$$L = \frac{C_2}{C_1} \cdot \text{Exp}\left(\frac{2 \cdot \mu \cdot \mu_{letsel} - \mu_{letsel}^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (\text{B2.3})$$

De afhankelijkheid van het relatief massaverschil  $\mu$  is dan een exponent:

$$L = C_3 \cdot \text{Exp}\left(\frac{\mu \cdot \mu_{letsel}}{\sigma^2}\right) \quad (\text{B2.4})$$

Waarbij  $C_3$  een constante is, die berekend kan worden uit  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\mu_{letsel}$  en  $\sigma$ , maar die niet representatief is vanwege onderregistratie (*Paragraaf 3.1.2.2*).

Hiermee is aangetoond dat het absoluut letselrisico evenredig is met  $e^{b \cdot \mu}$ , waarbij  $\mu$  het relatief massaverschil is en  $b$  een coëfficiënt. De coëfficiënt  $b$  is te berekenen uit het gemiddelde van de relatief-massaverschilverdelingen van letselsslachtoffers  $\mu_{letsel}$  en de standaarddeviatie van de relatief-massaverschilverdelingen van alle bestuurders en van die van letselsslachtoffers  $\sigma$ :

$$b = \frac{\mu_{letsel}}{\sigma^2} \quad (\text{B2.5})$$

## Bijlage 3

## Prognoses van de aantallen slachtoffers

De relatief-massaverschilverdeling van auto's van alle bestuurders betrokken bij een ongeval is een normale verdeling met gemiddelde nul en standaarddeviatie  $\sigma_{ong}$ :

$$RMVV_{alle}(\mu, j) = c_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\sigma_{ong}(j)}\right)^2\right),$$

waarbij  $\mu$  het relatief massaverschil is en  $c_1$  een constante.  $\sigma_{ong}$  hangt af van jaar  $j$ .

Het absoluut letselrisico is een exponentieel dalende functie van  $\mu$ :

$$L(\mu) = c_2 \cdot \text{Exp}(b \cdot \mu),$$

waarbij  $b$  de coëfficiënt uit *Vergelijking B2.5* is en  $c_2$  een constante. Omdat  $\mu_{letsel} < 0$  (want in lichte auto's vallen de meeste letsels), is ook  $b < 0$ .

Het aantal letsels in een bepaald jaar als functie van  $\mu$  is de relatief-massaverschilverdeling maal het letselrisico. Het totale aantal letsels in een bepaald jaar kan dan verkregen worden door te integreren over alle  $\mu$ :

$$N(j) = \int_{-\infty}^{\infty} RMVV_{alle}(\mu, j) \cdot L(\mu) d\mu = c_3 \cdot \text{Exp}\left(\frac{1}{2} \cdot (b \cdot \sigma_{ong}(j))^2\right)$$

De constante  $c_3$  kan bepaald worden voor een jaar dat al geweest is en waarvoor  $N$  en  $\sigma_{ong}$  bekend zijn. Daarvoor is het jaar 2006 genomen. Daaruit volgt de volgende vergelijking voor het verwachte aantal letsels:

$$N(j) = N(2006) \cdot \text{Exp}\left(\frac{b^2}{2} \cdot (\sigma_{ong}(j)^2 - \sigma_{ong}(2006)^2)\right) \quad (\text{B3.1})$$

## Bijlage 4

## Omrekenen naar het relatief letselrisico

De relatief-massaverschilverdeling voor letselongevallen is een normale verdeling met gemiddelde  $\mu_{letsel}$  en standaarddeviatie  $\sigma_{letsel}$ :

$$RMMV_{letsel}(\mu) = c_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\mu - \mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}}\right)^2\right)$$

Het aantal letselslachtoffers onder bestuurders met een bepaalde

massaverhouding  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1-\mu}{1+\mu}$ , waarbij het slachtoffer in de lichtste auto zit

is:

$$f_1(\mu) = RMMV_{letsel}(\mu) = c_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\mu - \mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}}\right)^2\right)$$

Het aantal letselslachtoffers onder bestuurders met een bepaalde

massaverhouding  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1+\mu}{1-\mu}$ , waarbij het slachtoffer in de zwaarste auto

zit is:

$$f_2(\mu) = RMMV_{letsel}(-\mu) = c_1 \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{-\mu - \mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}}\right)^2\right)$$

Het relatief letselrisico is de verhouding van deze twee aantallen:

$$R(\mu) = \frac{f_1(\mu)}{f_2(\mu)} = \text{Exp}\left(\frac{2 \cdot \mu \cdot \mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}^2}\right)$$

Met behulp van *Vergelijking 3.3* kan het relatief letselrisico als functie van de massaverhouding bepaald worden:

$$R\left(\frac{m_2}{m_1}\right) = \text{Exp}\left(\frac{2 \cdot \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) \cdot \mu_{letsel}}{\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \cdot \sigma_{letsel}^2}\right)$$

Een log-log-plot van  $R$  als functie van de massaverhouding is bij benadering lineair. Daarom wordt  $\log(R)$  als volgt benaderd worden voor massaverhoudingen rond 1:

$$\log(R) \approx \frac{-\mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}^2} \cdot \log\left(\frac{m_2}{m_1}\right)$$

De in de literatuur (Evans, 1994; Evans & Frick, 1993; Wood, 1997) gebruikte parameter  $u$  is dan:

$$u \approx \frac{-\mu_{letsel}}{\sigma_{letsel}^2} \tag{B4.1}$$

## Bijlage 5

### Verwachte aantallen slachtoffers naar leeftijd en geslacht

Het absoluut letselrisico voor een bepaald type letsel als functie van het relatief massaverschil  $\mu$  is een exponentieel dalende functie (zie *Vergelijking B2.4*; deze functie is dalend omdat  $b < 0$ ; zie ook *Bijlage 3*):

$$L_{letsel}(\mu) = C_3 \cdot \text{Exp}\left(\frac{\mu \cdot \mu_{letsel}}{\sigma^2}\right) \quad (\text{B5.1})$$

Waarbij  $\mu_{letsel}$  het gemiddelde van de relatief-massaverschilverdelingen van slachtoffers met een bepaald type letsel is en  $\sigma$  de standaarddeviatie van de relatief-massaverschilverdelingen van alle bestuurders in auto-auto-ongevallen.

De relatief-massaverschilverdeling van een bepaalde subgroep, bijvoorbeeld een groep in een bepaalde leeftijdsklasse of met een bepaald geslacht is:

$$RMVV_{subgroep}(\mu) = C_{2subgroep} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(\mu - \mu_{subgroep})^2}{2 \cdot \sigma_{subgroep}^2}\right) \quad (\text{B5.2})$$

Waarbij  $C_{2subgroep}$  een constante is,  $\mu_{subgroep}$  het gemiddelde van het relatief massaverschil van de subgroep is en  $\sigma_{subgroep}$  de standaarddeviatie van het relatief massaverschil van de subgroep is.

De relatief-massaverschilverdeling van letselsslachtoffers binnen de subgroep is:

$$RMVV_{letsel,subgroep}(\mu) = L_{letsel}(\mu) \cdot RMVV_{subgroep}(\mu) \quad (\text{B5.3})$$

Het totale aantal letselsslachtoffers binnen de subgroep kan worden verkregen door de relatief-massaverschilverdeling van letselsslachtoffers binnen de subgroep te integreren over alle relatieve massaverschillen:

$$N_{letsel,subgroep} = \int_{-1}^1 L_{letsel}(\mu) \cdot RMVV_{subgroep}(\mu) d\mu \quad (\text{B5.4})$$