

Rapport nr. 2023-R-17-NL

# **Impact van voertuigkenmerken op de letselernst van auto-inzittenden en hun botsingspartner**

Rapportnummer	R-2023-R-17-NL
Wettelijk depot	D/2023/0779/39
Opdrachtgever	Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer
Publicatiedatum	30/08/2023
Auteur(s)	Nina Nuyttens, Younes Ben Messaoud
Review	Ragnhild Davidse (SWOV), Annelies Schoeters (Vias institute), Evi Dons (Vias institute), Stef Willems (Vias institute), Benoit Godart (Vias institute), Jean-François Gaillet (Vias institute)
Verantwoordelijke uitgever	Karin Genoe

Inzichten of standpunten in dit rapport zijn niet noodzakelijk deze van de opdrachtgever.

Overname van informatie uit dit rapport is toegestaan mits expliciete bronvermelding:  
Nuyttens, N., & Ben Messaoud, Y. (2023). Impact van voertuigkenmerken op de letselerst van auto-inzittenden en hun botsingspartner, Brussel: Vias institute

Ce rapport est également disponible en français.

This report includes a summary in English.



# Inhoud

Tabellen- en figurenlijst	6
Terminologie	7
Samenvatting	9
Summary	12
1 Inleiding	15
2 Literatuur	16
2.1 Voertuigmassa	16
2.1.1 Auto-inzittenden	16
2.1.2 Kwetsbare weggebruikers	16
2.2 Voertuigvermogen	17
2.3 Motorkaphoogte	17
2.3.1 Auto-inzittenden	17
2.3.2 Kwetsbare weggebruikers	18
2.4 Euro NCAP-veiligheidsscores	19
2.4.1 Auto-inzittenden	19
2.4.2 Kwetsbare weggebruikers	19
2.5 Voertuigleeftijd	20
2.5.1 Auto-inzittenden	20
2.5.2 Kwetsbare weggebruikers	20
2.6 Type personenwagen: SUV en pick-up	21
2.6.1 Auto-inzittenden	21
2.6.2 Kwetsbare weggebruikers	21
2.7 Elektrische personenwagens	22
2.7.1 Auto-inzittenden	22
2.7.2 Kwetsbare weggebruikers	22
2.8 Samenvatting literatuur	23
3 Data en methodes	25
3.1 Gegevensbronnen	25
3.2 Analysestrategie	25
4 Resultaten en discussie	27
4.1 Voertuigkenmerken met een direct effect op letselernst	27
4.1.1 Samenhang tussen voertuigkenmerken	27
4.1.2 Voertuigmassa	27
4.1.3 Voertuigvermogen	29
4.1.4 Motorkaphoogte	29
4.1.5 Euro NCAP-veiligheidsscores	30
4.2 Voertuigkenmerken met een indirect effect op letselernst	32
4.2.1 Type personenwagen: SUV en pick-up	32
4.2.2 Elektrische wagens	34
4.2.3 Voertuigleeftijd	35

4.3	Evolutie van voertuigkenmerken	36
5	Conclusies en aanbevelingen	43
	Referenties	45
	Bijlage	48
5.1	Bijlage 1: Bepaling van de motorkaphoogte	48
5.2	Bijlage 2: Koppeling van databanken	48

## Tabellen- en figurenlijst

Tabel 1: Relatie tussen voertuigkenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de literatuurstudie. ....	9
Tabel 2: Relatie tussen voertuigkenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de statistische analyse. ....	10
Tabel 3: Evolutie van voertuigkenmerken van personenwagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	11
Tabel 4: Relationship between vehicle characteristics and injury severity among car occupants, car opponents and vulnerable road users, based on the literature review. ....	12
Tabel 5: Relationship between vehicle characteristics and injury severity among car occupants, car opponents and vulnerable road users, based on the statistical analysis. ....	12
Tabel 6: Evolution of vehicle characteristics of passenger cars in injury accidents by registration year. ....	14
Tabel 7: Relatie tussen voertuigkenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de literatuurstudie. ....	24
Tabel 8: Correlaties tussen variabelen die letselernst direct beïnvloeden. ....	27
Tabel 9: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een massatoename van 300 kg. ....	27
Tabel 10: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij verschillende massaverhouding tussen het voertuig van het slachtoffer en het voertuig van de opponent. ....	28
Tabel 11: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in het vermogen van 50 kW. ....	29
Tabel 12: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de motorkaphoogte van 10 cm. ....	29
Tabel 13: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de Euro NCAP-sterscore met 1 ster voor inzittenden van personenwagens. ....	30
Tabel 14: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij volwassenen en kinderen bij respectievelijk een toename in de Euro NCAP Adult Occupant en Child Occupant score met 10%. ....	30
Tabel 15: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij voetgangers en fietsers bij een toename in de Euro NCAP Vulnerable Road Users score met 10%. ....	31
Tabel 16: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een SUV betrokken is in een letselongeval. ....	32
Tabel 17: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een pick-up betrokken is in een letselongeval. ....	32
Tabel 18: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers bij een aanrijding met een SUV. ....	33
Tabel 19: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers bij een aanrijding met een pick-up. ....	33
Tabel 20: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een elektrische wagen betrokken is in een letselongeval. ....	34
Tabel 21: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de voertuigleeftijd. ....	35
Figuur 1: Gemiddelde massa, vermogen en motorkaphoogte van personenwagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	38
Figuur 2: Aandeel personenwagens in letselongevallen met een Euro NCAP-score van minstens 4 volgens inschrijvingsjaar. ....	39
Figuur 3: Aandeel SUV's in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	40
Figuur 4: Aandeel SUV's volgens grootte in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	41
Figuur 5: Aantal pick-ups in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	41
Figuur 6: Aandeel elektrische wagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar. ....	42
Figuur 7: Bepaling van motorkaphoogte of bonnet lead edge height (BLEH) (Figuur afkomstig uit (Saadé et al., 2020) waar het ook al was afgeleid van een Figuur uit de Europese Verordening Nr. 631/2009) ....	48
Figuur 8: Koppeling van databanken ....	49

# Terminologie

## Verplaatsingswijze

**Kwetsbare weggebruiker.** Voetganger, fietser, bromfietser of motorfietser.

**Voetganger.** Een persoon die zich te voet verplaatst. Inbegrepen zijn personen die een voertuig zonder motor voortduwen hetwelk niet breder is dan de voor de voetgangers vereiste ruimte (bv. rolstoel), en personen die een fiets, een gemotoriseerd rijwiel of een tweewielige bromfiets aan de hand leiden.

**Fietser.** Bestuurder van een fiets of fiets met trapondersteuning (uitgezonderd speed pedelec).

**Bromfietser.** Bestuurder van een bromfiets klasse A, bromfiets klasse B, of speed pedelec.

**Motorfietser.** Bestuurder van een motorfiets.

**Personenwagen.** In dit rapport zijn personenwagens voertuigen die aan de volgende drie criteria voldoen in de gekoppelde gegevens:

- zij zijn geregistreerd als personenwagen op basis van de variabele "cod\_ru\_typ\_cl"
- zij zijn zeker niet geregistreerd als "autobus", "vrachtwagen", "bromfiets" of "motorfiets" volgens de variabele "car\_class"
- zij zijn geregistreerd als "M1" op basis van de variabele "categorycode"

**SUV.** Dit zijn alle personenwagens met als categorie "SUV (Taille XL)", "SUV (Taille L)", "SUV (Taille M)", "SUV (Taille S)", "SUV (Taille XS) volgens de variabele "car\_class".

**Pick-up.** Dit is een voertuig dat niet geregistreerd is als "autobus", "vrachtwagen", "bromfiets" of "motorfiets" volgens de variabele "car\_class" en waarvan de merknaam (variabele cod\_car\_typ) een van de volgende substrings bevat: "Dodge Ram", "Dodge Dakota", "Tanoak", "Amarok", "Fullback", "Ford Ranger", "Ford Maverick", "Ford F-150", "Isuzu D-Max", "Mazda Bt50", "Mitsubishi L200", "Nissan Navara", "Nissan Frontier", "Titan", "Ram 1500", "Alaskan", "Actyon Sp", "Musso", "Hilux", "Tundra", "Tacoma", "Hummer H2 Sut", "Hummer H3 Sut", "Strada", "Gladiator", "Defender", "Cadillac Escalade Ext", "Chevrolet Avalanche", "Chevrolet Silverado", "Chevrolet Colorado", "Chevrolet Montana", "Campo", "Subaru Baja", "Subaru Brat", "Mercedes Benz X", "Lincoln Blackwood", "Lincoln Mark Lt", "Honda Ridgeline", "Gmc Canyon", "Gmc Sierra"

**Elektrische wagen.** Het gaat om volledig elektrische voertuigen die niet uitgerust zijn met een verbrandingsmotor. Hybride voertuigen zijn dus niet in deze categorie opgenomen. Het gaat om voertuigen met als brandstof "elektriciteit" volgens de variabele "fuel\_code\_r".

## Letselongeval en betrokkenen

**Letselongeval.** Elk ongeval waarbij ten minste één voertuig in beweging is op een openbare weg of op een privéweg waartoe (een deel van) het verkeer toegang heeft en waarbij ten minste één persoon gewond raakt of overlijdt.

**Verkeersdode.** Elk verkeersslachtoffer dat ter plaatse overlijdt of binnen de 30 dagen na de datum van het ongeval ten gevolge van het verkeersongeval.

**Zwaargewonde.** Elke persoon die in een verkeersongeval gewond is geraakt en wiens toestand een opname van meer dan 24 uur in het ziekenhuis vereist.

**Lichtgewonde.** Elke persoon die in een verkeersongeval gewond is geraakt en op wie de hoedanigheid van "zwaargewonde" of van "verkeersdode" niet van toepassing is.

**Ongedeerde.** Elke persoon betrokken in een verkeersongeval op wie de hoedanigheid van "lichtgewonde", "zwaargewonde" of van "verkeersdode" niet van toepassing is.

**Kans op ernstige verwondingen.** Kans dat men zwaar- of dodelijk verwond raakt als zich een verkeersongeval voordoet

**Kans op dodelijke verwondingen.** Kans dat men dodelijk verwond raakt als zich een verkeersongeval voordoet

**Crash-agressiviteit.** Dit is het onvermogen van een voertuig om de opponenten te beschermen bij aanrijdingen.

**Crashbestendigheid.** Dit is de capaciteit van een voertuig om zijn inzittenden te beschermen bij aanrijdingen.

## Statistiek

**Odds en Odds-ratio.** De odds is de probabilliteit dat iets gebeurt ten opzichte van de probabilliteit dat iets niet gebeurt:  $p / (1-p)$ . Indien bijvoorbeeld de probabilliteit op ernstige verwondingen 10% bedraagt, dan is de odds gelijk aan:  $0,1 / (1-0,1) = 0,11..$

De odds-ratio is de verhouding van twee odds. Indien bijvoorbeeld de odds op ernstige verwondingen voor mannen 0,22 bedraagt en voor vrouwen 0,11 dan is de odds-ratio gelijk aan:  $0,22 / 0,11 = 2$ . In dit rapport geeft de odds-ratio de verhoging/verlaging van de odds op ernstige of dodelijke verwondingen weer voor een bepaalde categorie personen (bv. inzittenden van SUV's) ten opzichte van een referentiecategorie (bv. inzittenden van niet-SUV's). Een odds-ratio groter dan 1 wijst op een hogere odds/kans op ernstige of dodelijke verwondingen voor een bepaalde groep ten opzichte van de referentiegroep; een odds-ratio kleiner dan 1 wijst op een kleinere odds/kans. Een voorbeeldje: een odds-ratio van 1,5 op ernstige verwondingen voor inzittenden van pick-ups ten opzichte van de inzittenden van niet-pick-ups betekent dat de odds/kans op ernstige verwondingen voor de eerste groep 1,5 maal of 50% hoger is dan voor de tweede groep.

In het vervolg van dit rapport wordt de term "odds" zelden gebruikt maar wordt in plaats daarvan de term "kans" gebruikt. Deze keuze is genomen omdat het woord "odds" niet gekend is bij het grote publiek. Vanuit statistisch oogpunt zijn "odds" en "kans" twee verschillende begrippen, maar zolang de probabilliteit van een gebeurtenis niet hoger is dan 10% leiden deze twee begrippen tot zeer gelijkaardige bevindingen. Dit is het geval in dit rapport want de probabilliteit van dodelijke verwondingen ligt nooit hoger dan 3% en de probabilliteit van ernstige verwondingen ligt doorgaans niet veel hoger dan 10%.

**Ref. of ref. cat.** Referentiecategorie. Dit is de categorie van een categorische variabele die dient om de effecten van de andere categorieën mee te vergelijken.

**Significantieniveau.** Wanneer een effect statistisch significant is, wil dit zeggen dat het aannemelijk is dat het niet op toeval berust. Er zijn verschillende significantieniveaus variërend van "licht significant" tot "zeer significant", weergegeven als volgt: \*  $p < ,05$  ("significant"); \*\*  $p < ,01$ ; \*\*\*  $p < ,001$  ("zeer significant"). "NS" staat voor "niet-significant" en wordt gebruikt als de p-waarde groter is dan ,05. Een "." wil zeggen dat een effect bijna statistisch significant is: de p-waarde ligt dan tussen ,05 en < ,1.



# Samenvatting

Verschillende factoren bepalen de letselernst van personen betrokken in een verkeersongeval: factoren gerelateerd aan de personen zelf (bv. leeftijd), factoren gerelateerd aan het ongeval en zijn omgeving (bv. botsingstype, snelheidslimiet), en factoren gerelateerd aan de betrokken voertuigen (bv. massa van de voertuigen). Het is op deze laatste groep van factoren, de voertuigenmerken, waarop dit rapport focust.

De onderzoeksvragen van deze studie luiden als volgt:

- Welke voertuigenmerken van een personenwagen bepalen de letselernst van auto-inzittenden (in letselongevallen met andere personenwagens)?
- Welke voertuigenmerken van een personenwagen beïnvloeden de letselernst van de inzittenden van de personenwagens bij de tegenpartij en bij kwetsbare weggebruikers<sup>1</sup>?

Acht voertuigenmerken (Tabel 1) worden onderzocht, eerst via een literatuurstudie, daarna via een statistische analyse van Belgische ongevalgegevens. Voor zeven van de acht onderzochte voertuigenmerken kan de literatuurstudie een verband aantonen met letselernst. Over het achtste voertuigenmerk, het feit of een personenwagen elektrisch is of niet, bestaan voorlopig onvoldoende data en studies om een mogelijk verband met letselernst aan te tonen.

Tabel 1: Relatie tussen voertuigenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de literatuurstudie.<sup>2</sup>

	Auto-inzittenden		Tegenpartij: auto-opponenten		Tegenpartij: kwetsbare weggebruikers	
	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels
Toename van massa	-	-	+	+		+=
Toename van vermogen						
Toename van de motorkaphoogte			+		+	+
Toename van de Euro NCAP-score	-	-			- (score voor voetgangers)	- (score voor voetgangers)
SUV t.o.v. niet-SUV	-	-	+	+	+=	+=
Pick-up t.o.v. niet-pick-up	-	-	+	+	+=	+=
Elektrische wagen t.o.v. niet-elektrische wagen <sup>3</sup>	=	=	=	=	=	=
Toename van voertuigleeftijd	+	+	+ <sup>4</sup>	+	+ <sup>5</sup>	+

De statistische analyse bestaat uit univariate en multivariate logistische regressies, waarbij enerzijds de kans op ernstige verwondingen en anderzijds de kans op dodelijke verwondingen gemodelleerd wordt. De dataset waarop de analyses gebeuren is het resultaat van de koppeling van meerdere gegevensbronnen: ongevalgegevens, voertuiggegevens, gegevens van Euro NCAP en motorkaphoogtegegevens.

Tabel 2 vat de resultaten van de statistische analyses, meer bepaald van de univariate logistische regressies, samen. De tabel toont uitsluitend statistisch significante effecten. Voor alle voertuigenmerken wordt een relatie met letselernst gevonden behalve voor het feit of een personenwagen elektrisch is of niet.

<sup>1</sup> Voetgangers, fietsers, bromfietsers en motorfietsers.

<sup>2</sup> Een toename of afname van de kans op ernstige of dodelijke letsels wordt respectievelijk aangeduid met een "+" en een "-". Wanneer geen effect gevonden wordt, wordt dit aangeduid met een "=" . Een combinatie "+=" duidt op het feit dat sommige studies een stijging noteren terwijl andere geen effect vinden. Een lege cel reflecteert het feit dat we hiervoor geen literatuur gevonden hebben.

<sup>3</sup> Over dit thema was slechts één studie te vinden en hierin werd geen significant verschil gevonden op vlak van letselernst tussen ongevallen met elektrische wagens enerzijds en ongevallen met wagens met een verbrandingsmotor anderzijds.

<sup>4</sup> Opponenten aangereden door een jonger voertuig in een kop-staartaanrijding hebben minder kans op ernstige letsels dan wanneer ze aangereden worden door een ouder voertuig.

<sup>5</sup> Voetgangers getroffen door jongere voertuigen hebben minder kans op ernstige letsels door de aanwezigheid van moderne veiligheidssystemen zoals Automatic Emergency Braking (AEB).

Tabel 2: Relatie tussen voertuigkenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de statistische analyse.

	Auto-inzittenden <sup>6</sup>		Tegenpartij: auto-opponenten		Tegenpartij: kwetsbare weggebruikers	
	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels
Massa: + 300 kg	-32%	-48%	+37%	+77%	+7%	+28%
Vermogen: + 50 kW	-55%	-65%	+54%	+127%		
Motorkaphoogte: + 10 cm						+27%
Euro NCAP-score: + 1 ster			+25%			
SUV t.o.v. niet-SUV	-26%	-52%	+18%			
Pick-up t.o.v. niet-pick-up	-64%		+50%		+91%	+196%
Elektrische wagen t.o.v. niet- elektrische wagen						
Voertuigleeftijd: "≥ 12 jaar" versus "0-3 jaar"	+60%				+17%	

Met uitzondering van voertuigleeftijd zien we dat voertuigkenmerken die de letselernst van auto-inzittenden verminderen, zoals een hoge massa, eerder ongunstig zijn voor de tegenpartij. Wanneer bijvoorbeeld de massa van een voertuig met 300 kg stijgt, dan daalt de kans op overlijden bij de auto-inzittenden met de helft terwijl diezelfde kans bij de tegenpartij stijgt met respectievelijk 77% voor auto-opponenten en 28% voor kwetsbare weggebruikers. Eenzelfde patroon zien we voor andere voertuigkenmerken zoals vermogen en pick-ups. Dit wijst op een tegengestelde relatie tussen de veiligheid voor inzittenden en de veiligheid voor opponenten, of anders verwoord: voertuigen met een hoge capaciteit om hun inzittenden te beschermen (= hoge crashbestendigheid) hebben doorgaans een lagere capaciteit om de opponent te beschermen (= hoge crash-agressiviteit).

Voor voertuigleeftijd nemen we dit verband echter niet waar. In vergelijking met jonge wagens (0-3 jaar) doen oudere wagens (≥ 12 jaar) zowel bij auto-inzittenden als aangereden kwetsbare weggebruikers de kans op ernstige verwondingen stijgen, respectievelijk met 60% en 17%. Dus hoe jonger een voertuig, hoe beter het de inzittenden maar ook de kwetsbare weggebruikers beschermt. Wat betreft de motorkaphoogte blijkt een toename met 10 cm de kans op overlijden bij kwetsbare weggebruikers te doen stijgen met 27%.

Wat betreft de algemene Euro NCAP-score, welke de veiligheid voor auto-inzittenden uitdrukt in een score van 0 tot 5 sterren, vinden we geen statistisch significante resultaten voor de *auto-inzittenden*. Anderzijds vinden we dat een toename met 1 ster de kans op ernstige verwondingen bij de *auto-inzittenden bij de tegenpartij* doet stijgen met 25%. Dit resultaat is wel statistisch significant en kan vermoedelijk verklaard worden door de gemiddeld hogere massa en het gemiddeld hoger vermogen van auto's met een bovengemiddelde Euro NCAP-score. Een wagen met 5 sterren weegt bijvoorbeeld 250 kg meer dan een wagen met 4 sterren, en heeft bovendien gemiddeld 21 kW meer vermogen.

Aanvullend op de twee hoofdonderzoeksvragen trachten we in deze studie ook de vraag te beantwoorden hoe voertuigkenmerken evolueren in het wagenpark. Neemt de massa van personenwagens bijvoorbeeld jaar na jaar toe? En op welke manier beïnvloeden deze evoluties de crashbestendigheid en crash-agressiviteit van personenwagens? Bij gebrek aan data over het volledige wagenpark (dus inclusief personenwagens die niet in letselongevallen waren betrokken) beantwoorden we deze vragen via een descriptieve analyse van onze dataset welke is beperkt tot personenwagens die in letselongevallen betrokken waren. Tabel 3 vat onze bevindingen samen.

<sup>6</sup> Het gaat om auto-inzittenden in letselongevallen met andere personenwagens.

Tabel 3: Evolutie van voertuigkenmerken van personenwagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.

Voertuigkenmerk	Evolutie van 2000 tot 2021
Massa (gemiddelde)	+ 28%
Vermogen (gemiddelde)	+ 60%
Motorkaphoogte (gemiddelde)	+ 14% (tot 2020)
Euro NCAP-score (aandeel score 4 of 5)	Vrijwel stabiel tussen 2010 en 2020
SUV (aandeel)	Toename van 1% naar 39%
Pick-up (aandeel)	Het lage aantal voertuigen laat niet toe een evolutie waar te nemen.
Elektrische wagen (aandeel)	Toename van 0,0% naar 3,3%

Op basis van Tabel 3 zien we vijf toenames sinds het jaar 2000, nl. van massa, vermogen, motorkaphoogte en van het aandeel SUV's en elektrische wagens. Dit zijn vijf toenames die de crashbestendigheid en de crash-agressiviteit van het wagenpark de afgelopen jaren hebben doen groeien.

Op basis van de resultaten uit deze studie kunnen we besluiten dat de waargenomen bevindingen en trends vooral nadelig zijn voor twee weggebruikersgroepen: kwetsbare weggebruikers en auto-inzittenden van minder robuuste wagens (i.e. wagens met bv. een lagere massa en lager vermogen). Deze resultaten leiden tot o.a. de volgende aanbevelingen: een uitbreiding van de verschillende Euro NCAP-indicatoren met een indicator die de veiligheid voor auto-opponenten beoordeelt, en het verder doorvoeren van strengere voertuigeisen ter bescherming van kwetsbare weggebruikers.

# Summary

Several factors determine the injury severity of persons involved in a road crash: factors related to the persons themselves (e.g., age), factors related to the crash and its environment (e.g., collision type, speed limit), and factors related to the vehicles involved (e.g., vehicle mass). It is on this last group of factors, vehicle characteristics, that this report focuses.

The research questions of this study are as follows:

- What vehicle characteristics of a passenger cars determine the injury severity of car occupants (in road crashes involving other passenger cars)?
- Which vehicle characteristics of a passenger car affect the injury severity of opponents, both passenger car occupants and vulnerable road users<sup>7</sup>?

Eight vehicle characteristics (Tabel 4) are examined, first through a literature review, then through a statistical analysis of Belgian crash data. For seven of the eight investigated vehicle characteristics, the literature review can show a relationship with injury severity. For the eighth vehicle characteristic, the fact whether a passenger car is electric or not, there are, for the time being, insufficient data and studies to show a possible link with injury severity.

Tabel 4: Relationship between vehicle characteristics and injury severity among car occupants, car opponents and vulnerable road users, based on the literature review.<sup>8</sup>

	Car occupants		Opponent: car		Opponent: vulnerable road users	
	Probability of serious injury	Probability of fatal injury	Probability of serious injury	Probability of fatal injury	Probability of serious injury	Probability of fatal injury
Increase in mass	-	-	+	+		+=
Increase in mass						
Increase in hood height			+		+	+
Increase in Euro NCAP-score	-	-			- (pedestrian score)	- (pedestrian score)
SUV vs. non-SUV	-	-	+	+	+=	+=
Pick-up vs. non-pick-up	-	-	+	+	+=	+=
Electric vehicle vs. non-electric vehicle <sup>9</sup>	=	=	=	=	=	=
Increase in vehicle age	+	+	+ <sup>10</sup>	+	+ <sup>11</sup>	+

The statistical analysis consists of univariate and multivariate logistic regressions, which model the probability of serious injuries on the one hand and the probability of fatal injuries on the other. The dataset on which the analyses were performed is the result of linking multiple data sources: crash data, vehicle data, Euro NCAP data and hood height data.

Tabel 5 summarizes the results of the statistical analyses, particularly the univariate logistic regressions. The table shows only statistically significant effects. A relationship with injury severity is found for all vehicle characteristics except whether a passenger car is electric or not.

Tabel 5: Relationship between vehicle characteristics and injury severity among car occupants, car opponents and vulnerable road users, based on the statistical analysis.

<sup>7</sup> Pedestrians, cyclists, mopeds and motorcyclists.

<sup>8</sup> An increase or decrease in the probability of serious or fatal injuries is indicated by a "+" and a "-" respectively. When no effect is found, it is indicated by an "=". A combination "+=" indicates that some studies note an increase while others find no effect. A blank cell reflects the fact that we found no literature for this.

<sup>9</sup> Only one study could be found on this topic and it found no significant difference in terms of injury severity between accidents involving electric cars on the one hand and accidents involving combustion engine cars on the other.

<sup>10</sup> Opponents hit by a younger vehicle in a rear-end collision are less likely to suffer serious injuries than if hit by an older vehicle.

<sup>11</sup> Pedestrians struck by younger vehicles are less likely to suffer serious injuries due to the presence of modern safety systems such as Automatic Emergency Braking (AEB).

	Car occupants <sup>12</sup>		Opponent: car occupants		Opponent: vulnerable road users	
	Probability of serious injury	Probability of fatal injury	Probability of serious injury	Probability of fatal injury	Probability of serious injury	Probability of fatal injury
Mass: + 300 kg	-32%	-48%	+37%	+77%	+7%	+28%
Power: + 50 kW	-55%	-65%	+54%	+127%		
Hood height: + 10 cm						+27%
Euro NCAP-score: + 1 ster			+25%			
SUV vs. non-SUV	-26%	-52%	+18%			
Pick-up vs. non-pick-up	-64%		+50%		+91%	+196%
Electric vehicle vs. non-electric vehicle						
Vehicle age: "≥ 12 years" versus "0-3 years"	+60%				+17%	

With the exception of vehicle age, we find that vehicle characteristics that reduce the injury severity of car occupants, such as high mass, are more likely to be detrimental for the other party. For example, when the mass of a vehicle increases by 300 kg, the probability of fatal injuries for car occupants decreases by half while the same probability for the other party increases by 77% for car occupants and 28% for vulnerable road users, respectively. A similar pattern is seen for other vehicle characteristics such as power and pickup trucks. This indicates an opposite relationship between occupant safety and opponent safety, or put another way: vehicles with a high capacity to protect their occupants (= high crashworthiness) tend to have a lower capacity to protect the opponent (= high crash aggressiveness).

For vehicle age, however, we do not observe this relationship. Compared to young cars (0-3 years), older cars (≥ 12 years) increase the risk of serious injuries for both car occupants and hit vulnerable road users, by 60% and 17%, respectively. Thus, the younger a vehicle, the better it protects occupants but also vulnerable road users. Regarding hood height, a 10-cm increase in hood height has been found to increase the risk of fatal injuries for vulnerable road users by 27%.

Regarding the overall Euro NCAP score, which expresses car occupant safety in a score from 0 to 5 stars, we do not find statistically significant results for car occupants. On the other hand, we find that a 1-star increase increases the probability of serious injuries to car occupants at the other party by 25%. This result does reach statistical significance and can presumably be explained by the higher average mass and power of cars with above-average Euro NCAP scores. For example, a car with 5 stars weighs 250 kg more than a car with 4 stars, and also has on average 21 kW more power.

In addition to the two main research questions, in this study we also try to answer the question of how vehicle characteristics evolve in the car fleet. For example, does the mass of passenger cars increase year after year? And in what ways do these evolutions affect the crashworthiness and crash aggressiveness of passenger cars? In the absence of data on the entire fleet (i.e. including passenger cars not involved in injury accidents), we answer these questions through a descriptive analysis of our dataset which is limited to passenger cars involved in injury accidents. Table 3 summarizes our findings.

<sup>12</sup> It concerns car occupants in injury accidents with other passenger cars.

Tabel 6: Evolution of vehicle characteristics of passenger cars in injury accidents by registration year.

Vehicle characteristic	Evolution from 2000 to 2021
Mass (mean)	+ 28%
Power (mean)	+ 60%
Bonnet height (mean)	+ 14% (until 2020)
Euro NCAP-score (proportion of score 4 or 5)	Almost stable between 2010 and 2020
SUV (proportion)	Increase from 1% to 39%
Pick-up (proportion)	The low number of vehicles does not allow an evolution to be observed.
Electric car (proportion)	Increase from 0,0% to 3,3%

Based on Tabel 6, we see five increases since the year 2000, namely mass, power, hood height and the proportion of SUVs and electric cars. These are five increases that have increased the crashworthiness and crash aggressiveness of the vehicle fleet in recent years.

Based on the results from this study, we can conclude that the observed findings and trends are mainly detrimental to two road user groups: vulnerable road users and car occupants of less robust cars (i.e., cars with e.g., lower mass and lower power). These results lead to the following recommendations, among others: an extension of the various Euro NCAP indicators with an indicator assessing safety for car occupants as opponents, and the further implementation of more stringent vehicle requirements to protect vulnerable road users.

# 1 Inleiding

Jaarlijks gebeuren er rond de 35.000 verkeersongevallen in België waarbij personen letsels oplopen. Die letsels variëren van lichte verwondingen tot zware verwondingen of dodelijke verwondingen. De ernst van die verwondingen wordt bepaald door verschillende factoren: factoren gerelateerd aan de personen zelf (bv. leeftijd), factoren gerelateerd aan het ongeval en zijn omgeving (bv. botsingstype, snelheidslimiet), en factoren gerelateerd aan de betrokken voertuigen (bv. massa van de voertuigen). Het is op deze laatste groep van factoren, de voertuigenmerken, dat dit rapport focust.

Welke voertuigenmerken van een personenwagen bepalen de letselernst van auto-inzittenden? En welke voertuigenmerken van een personenwagen beïnvloeden de letselernst van de inzittenden van de personenwagens bij de tegenpartij en bij kwetsbare weggebruikers? Dat zijn de belangrijkste onderzoeksvragen van dit rapport.

De voertuigenmerken die in dit rapport aan bod komen zijn: massa, vermogen, motorkaphoogte, Euro NCAP-veiligheidsscore, voertuigleeftijd, type personenwagen (SUV's, pick-ups) en type brandstof (elektrische wagens). Deze variabelen zijn afkomstig van verschillende gegevensbronnen die voor deze studie via koppelingen aan elkaar zijn gelinkt. Voor elke variabele afzonderlijk wordt nagegaan hoe zij letselernst bij de voornoemde doelgroepen beïnvloedt.

De kennis over deze relaties moet ook helpen begrijpen hoe de veiligheid voor auto-inzittenden en kwetsbare weggebruikers evolueert door de voortdurende veranderende samenstelling van het wagenpark op de Belgische wegen zoals o.a. de toename van het aandeel SUV's en pick-ups in het totale aantal personenwagens en de toenemende elektrificatie. Belangrijk daarbij is om na te gaan of deze voertuigenmerken de veiligheid van de drie doelgroepen - auto-inzittenden, opponent-auto-inzittenden en kwetsbare weggebruikers - op eenzelfde of op een verschillende manier beïnvloeden.

Het rapport start met een hoofdstuk "literatuur" waarin een overzicht wordt gegeven van bevindingen uit eerdere studies over de impact van voertuigenmerken op weggebruikers. Daarna volgt een hoofdstuk "data en methodes" die de verschillende gegevensbronnen en de gebruikte analysestrategie beschrijft. Hierna volgt een hoofdstuk "resultaten en discussie" waarbij o.a. de resultaten van de analyse worden vergeleken met de literatuurstudie. Er wordt afgesloten met een hoofdstuk "conclusies en aanbevelingen".

## 2 Literatuur

In dit literatuuronderzoek werden studies geselecteerd die onderzocht hebben wat de invloed is van een aantal voertuigeigenschappen op de letselernst bij ongevallen tussen twee auto's enerzijds en bij ongevallen van een auto met een kwetsbare weggebruiker anderzijds. De thema's zijn: voertuigmassa, voertuigvermogen, motorkaphoogte, Euro NCAP-veiligheidsscores, voertuigleeftijd, SUV's en pick-ups en elektrische wagens. Voor elk thema werden de bevindingen van een vijftal relevante studies samengevat. Hiervoor werd gebruik gemaakt van Google Scholar en werden bij voorkeur de artikelen geselecteerd met een gelijkaardige onderzoeksmethode als in de huidige studie (zijnde logistische regressie), om zo de resultaten te kunnen kaderen en te vergelijken.

Aan het eind van elke sectie volgt een conclusie waarin het effect van de bestudeerde variabele kort wordt samengevat. Deze conclusies zijn ook gebundeld in een tabel aan het einde van dit hoofdstuk.

### 2.1 Voertuigmassa

#### 2.1.1 Auto-inzittenden

Een analyse van de ongevallendata in de VS in de periode 1975-1989 toont aan dat bij botsingen tussen twee voertuigen, een bestuurder 2,7 tot 4,3% meer kans heeft om te overlijden dan de opponent naarmate zijn voertuig 1% lichter is (Evans & Frick, 1993). De precieze waarde hangt onder andere af van het bouwjaar van het voertuig: voor auto's gebouwd voor 1980 betreft het 3,7% ten opzichte van 2,7% voor auto's gebouwd na 1980. Omgerekend voor de situatie waarbij het voertuig van de opponent dubbel zo zwaar is betekent dit dat de bestuurder van het lichte voertuig tussen 7 en 14 keer meer kans heeft om te overlijden dan de bestuurder van het zware voertuig. Voor het realistische scenario van een botsing tussen een voertuig met massa 900 kg en een voertuig met massa 1800 kg heeft de bestuurder van het lichte voertuig 11,5 keer meer kans om te overlijden dan de bestuurder van het zware voertuig. Dit is vergelijkbaar met een eerder gevonden waarde van 13 door Evans (1985) en werd later enigszins bevestigd door Fredette et al. (2008), waar werd vastgesteld dat de bestuurder van het lichte voertuig 11 keer meer kans heeft om te overlijden dan de bestuurder van het zware voertuig (minstens twee keer zo zwaar als het lichte voertuig).

Høye (2017) voerde ook een literatuurstudie uit naar de invloed van voertuigmassa op ernstige en dodelijke verwondingen. Daarbij werd vastgesteld dat een toename van 100 kg gemiddeld de kans op ernstige of dodelijke verwondingen voor de inzittenden van het betreffende voertuig doet dalen met 7,5%. De kans op ernstige of dodelijke verwondingen bij de tegenpartij daarentegen stijgt bij eenzelfde toename met 6,6%.

Deze studies bevestigen en kwantificeren de volgende twee "wetten" of principes:

1. Hoe zwaarder het voertuig, hoe groter het risico op dodelijke verwondingen bij de opponent.
2. Hoe zwaarder het voertuig, hoe kleiner het risico op dodelijke verwondingen bij de inzittenden.

#### 2.1.2 Kwetsbare weggebruikers

Ondanks de bepalende invloed van voertuigmassa op de letselernst in ongevallen tussen twee voertuigen, wordt voertuigmassa in de literatuur niet altijd beschouwd als een bepalende factor in de uitkomst van een botsing tussen een voertuig en een kwetsbare weggebruiker. Dit kan worden verklaard door het feit dat het massaverschil tussen een voertuig en een kwetsbare weggebruiker hoe dan ook zeer groot is (het verschil in massa is over het algemeen groter dan 1000 kg, behalve bij ongevallen met auto's uit segmentklasse A) en dat een variatie in voertuiggewicht van een paar honderd kilo slechts een matige invloed heeft op de hoe dan ook ernstige gevolgen voor de kwetsbare weggebruiker (in vergelijking met andere variabelen). Zo vonden Roudsari et al. (2004) in een studie op basis van gegevens van de VS dat voertuigmassa geen invloed heeft op de kans op dodelijke verwondingen bij voetgangers. Dezelfde bevinding werd genoteerd in een Japanse studie (Mizuno & Kajzer, 1999). Beide studies vonden wel een verhoging van de kans op dodelijke verwondingen bij voetgangers getroffen door lichte vrachtwagens of bestelwagens. Dit effect wordt dus eerder toegeschreven aan de motorkaphoogte en structuur of stijfheid van de motorkap dan aan de hogere voertuigmassa.

Anderzijds zijn er studies die wel een effect van massa op de overlijdenskans van voetgangers vermelden. Ballesteros et al. (2004) onderzocht de impact van drie variabelen op dodelijke letsels bij voetgangers in de



VS: type voertuig (conventionele personenwagen, SUV/pick-up, bestelwagen), snelheidslimiet en massa. Gecorrigeerd voor type voertuig en voor snelheidslimiet blijkt dat bij een aanrijding door een zware wagen (> 1451 kg) de overlijdenskans 39% hoger is dan bij een aanrijding door een lichte wagen (< 1451 kg). Evans (2004) berekende op basis van de wetten van Newton dat een voetganger in theorie ongeveer 15% meer kans heeft om te overlijden wanneer hij aangereden wordt door een voertuig van 1800 kg in vergelijking met een gelijkaardig voertuig van 900 kg. Tyndall (2021) stelde recentelijk op basis van ongevalgegevens in de VS vast dat voor elke toename van de voertuigmassa met 100 kg de kans dat een getroffen voetganger overlijdt toeneemt met 2,4%.

Kortom, in de wetenschappelijke literatuur is geen eenduidig effect van voertuigmassa op de kans op dodelijke verwondingen bij voetgangers te vinden. Sommige studies vinden geen effect, terwijl andere een stijging noteren naarmate de voertuigmassa stijgt.

## 2.2 Voertuigvermogen

In de wetenschappelijke literatuur wordt voertuigvermogen zelden expliciet vermeld in de context van letselernst bij ongevallen. De reden hiervoor is dat vermogen op zich geen directe invloed heeft op de letselernst. Vermogen drukt immers uit hoeveel kracht de auto kan leveren over een bepaald tijdsinterval. Een auto met een hoger vermogen kan over eenzelfde hoeveelheid tijd meer kracht leveren en dus harder optrekken dan een auto met een lager vermogen. Bij een botsing zijn volgens de wetten van de fysica echter enkel de massa, snelheid en structuur, hoogte en stijfheid van de motorkap de voertuigkenmerken die een rol spelen.

Men kan veronderstellen dat er sneller of agressiever gereden wordt met voertuigen met een hoger vermogen, maar dan is de invloed van vermogen toe te schrijven aan de rijstijl van de bestuurders en niet een intrinsiek gevolg van het hogere vermogen. Elvik en Skaansar (1989) bieden op basis van Noorse ongevalstatistieken van een verzekeringsmaatschappij hier bewijs voor. Het onderzoek vergeleek het aantal gemelde ongevallen bij de verzekeringsmaatschappij voor zes automodellen. Elk automodel was beschikbaar in een standaard- en GTI-uitvoering. De GTI-uitvoeringen hebben aanzienlijk sterkere motoren met een hoger vermogen dan de standaarduitvoeringen. Het aantal ongevallen lag gemiddeld 75% hoger bij de GTI-modellen. Het onderzoek biedt geen informatie over de letselernst in functie van het vermogen. Het hogere ongevalsrisico is wellicht niet enkel toe te schrijven aan het hogere vermogen maar ook aan de rijstijl en kenmerken van de bestuurder.

Dit vermoeden wordt verder gestaafd door een studie naar het effect van vermogen op snelheid waarin werd vastgesteld dat bestuurders van krachtige voertuigen meer geneigd zijn om sneller of boven de maximumsnelheid te rijden (McCartt & Hu, 2017). Ook volgens Krahé & Fenske (2002) hebben bestuurders van krachtige wagens gemiddeld een agressievere rijstijl.

## 2.3 Motorkaphoogte

### 2.3.1 Auto-inzittenden

Seyer et al. (2000) bestudeerden de impact van massa, stijfheid en geometrie van een voertuig bij flankaanrijdingen. Hierin werd vastgesteld dat de verwondingen bij de opponent ernstiger worden naarmate de motorkaphoogte toeneemt. Bij een aanrijding door een voertuig met een hogere motorkap loopt de opponent eerder verwondingen op aan het bovenlichaam in plaats van rond de heup. Siegel et al. (2001) stelden eveneens vast dat zowel bij frontale als laterale botsingen tussen sedans<sup>13</sup> enerzijds en SUV's of lichte vrachtwagens anderzijds verwondingen aan de romp en de organen vaker voorkomen dan bij botsingen tussen twee sedans. Het verhogen van de stijfheid van het voertuig verhoogt het risico op verwondingen aan de heup. De combinatie van een stijve en hoge motorkap, wat een doorsnee SUV of pick-up truck typeert, verhoogt zowel het risico op verwondingen aan de heup als aan het bovenlichaam.

Het effect van de motorkaphoogte dat gevonden werd door Seyer et al. (2000) was groter dan de effecten van massa en stijfheid. Buzeman-Jewkes (1998) stelde vast dat bij frontale aanrijdingen de stijfheid van de voertuigen de belangrijkste factor is, gevolgd door de motorkaphoogte en de massa. Ten slotte concludeerde

---

<sup>13</sup> Een sedan is een personenwagen waarin tot vijf personen kunnen zitten en waarbij de kofferruimte gescheiden is van het passagiersgedeelte, in tegenstelling tot een "hatchback" waarbij de twee ruimtes met elkaar verbonden zijn.

Padmanaban (2003) dat de motorkaphoogte slechts een kleine rol speelt en dat massa veruit de belangrijkste factor is.

Les et al. (2001) bestudeerde de "agressiviteit" van voertuigen in functie van fysieke voertuigeigenschappen, zoals de wielbasis (de afstand tussen het voor- en achterwiel), motorkaphoogte en -lengte. De wielbasis kan als een vervanging voor voertuigmassa gezien worden aangezien er een sterke positieve correlatie is tussen wielbasis en voertuigmassa: een groter voertuig, met een langere wielbasis, heeft een hogere massa. De analyse wees uit dat de motorkaphoogte de meest invloedrijke parameter was. Ook werd vastgesteld dat (destijds) nieuwere voertuigen agressiever zijn, maar dat omwille van een kleine steekproefgrootte (51 automodellen) hier meer onderzoek naar nodig is. De vooropgestelde verklaring voor de toenemende agressiviteit is te vinden in de gemiddeld hogere en stijvere motorkap bij nieuwere voertuigen.

Samengevat zorgt het verhogen van de motorkap ervoor dat de verwondingen die de opponent oplopen verschuiven van de heup naar de romp en vitale organen. Hierdoor neemt de ernst van de verwondingen toe. Sommige studies waarin zowel het effect van voertuigmassa, motorkaphoogte als stijfheid van de motorkap bestudeerd werd, vinden dat motorkaphoogte de meest invloedrijke parameter is terwijl andere massa als belangrijkste factor vooropstellen. Bij frontale aanrijdingen is de stijfheid van de motorkap wellicht het belangrijkste.

### 2.3.2 Kwetsbare weggebruikers

Men kan veronderstellen dat kwetsbare weggebruikers bij een aanrijding door een voertuig met een hogere motorkap zwaardere verwondingen zullen oplopen dan wanneer zij getroffen worden door een voertuig met een lagere motorkap. Dit zou te wijten kunnen zijn aan het feit dat men makkelijker over een lagere motorkap heen rolt terwijl men daarentegen makkelijker onder het voertuig terecht zou kunnen komen bij een aanrijding door een voertuig met een hogere motorkap. Bovendien wordt bij een aanrijding door een voertuig met een hogere motorkap een groter deel van het lichaam getroffen door het harde koetswerk van het voertuig.

Ballesteros et al. (2004) stelden vast dat voetgangers die geraakt worden door een SUV of een pick-up truck minder vaak verwondingen onder de knie opliepen omwille van de hogere motorkappen. Men verwacht in dat geval ernstigere verwondingen rond de heup. Li et al. (2017) bevestigden deze hypothese: voor elke 10% dat de motorkap hoger is dan de heup van de voetganger neemt het risico op een ernstige heupverwonding toe met 74%. Ten slotte vonden Shang et al. (2018) dat eenzelfde toename van de motorkaphoogte het risico op ernstige hoofdletsels met een factor 11 verhoogt.

Gunasekaran (2021) stelde in een thesis vast dat de motorkaphoogte en motorkaphoek significante voorspellers zijn van hersenletsels. Het verlagen van de motorkap van SUV's en pick-ups (die doorgaans een hoge motorkap hebben) verlaagt het risico op hersenletsel bij voetgangers, terwijl bij sedans (die doorgaans een lage motorkap hebben) eerder wordt vastgesteld dat een hogere motorkap het risico verlaagt. Er bestaat dus een gulden middelpunt waarbij het risico op een hersenletsel het laagst is. In het bijzonder werd er vastgesteld dat aanrijdingen door voertuigen met een hoge motorkap en lage motorkaphoek (denk aan een pick-up truck met een hoge, bijna horizontale motorkap) vaak tot ernstige hoofdletsels kunnen leiden. In een eerdere studie vonden Yin et al. (2017) dat de motorkaphoogte een significante voorspeller is van het risico op letsels aan het hoofd.

Ten slotte stelden Saadé et al. (2020) op basis van een analyse van de Franse ongevalgegevens van 2011 vast dat een voetganger bij een aanrijding door een voertuig met een hoge motorkap (> 83,5 cm) zeven keer meer kans loopt op dodelijke verwondingen dan bij een aanrijding door een voertuig met lage motorkap (< 83,5 cm).

Om te besluiten kunnen we stellen dat de verschillende studies het er over eens zijn dat het verhogen van de motorkap de kans op ernstige letsels verhoogt, voornamelijk door het feit dat de verwondingen verschuiven van de knie naar de heup en dat ook de kans op ernstige hoofdletsels toeneemt wanneer de motorkaphoogte toeneemt en de motorkaphoek daalt (bijvoorbeeld bij pick-ups, met hun kenmerkende hoge, bijna horizontale motorkap).

## 2.4 Euro NCAP-veiligheidsscores

### 2.4.1 Auto-inzittenden

Euro NCAP (European New Car Assessment Program) is een onafhankelijke non-profitorganisatie die de veiligheid van auto's test en beoordeelt aan de hand van een beoordelingssysteem met vijf sterren. Des te meer sterren een auto krijgt, des te beter de inzittenden beschermd worden in geval van een botsing. Dit is althans de theoretische voorspelling op basis van crash tests. Men kan op basis van ongevalgegevens nagaan of in de praktijk inzittenden van auto's met hogere veiligheidsscores effectief minder vaak (ernstige) verwondingen oplopen.

Newstead et al. (2015) analyseerden Britse en Franse ongevalgegevens om de crashbestendigheid van voertuigen, ofwel hoe goed een voertuig de inzittenden beschermt bij een ongeval, te vergelijken met hun Euro NCAP-veiligheidsscores. De analyse van de Britse data toont dat hogere Euro NCAP-veiligheidsscores gepaard gaan met een lager risico op verwondingen en met minder ernstige verwondingen. Enkel het verschil tussen auto's met één ster en vier sterren was statistisch significant. De analyse van de Franse data leidt tot gelijkaardige resultaten: auto's met vier sterren beschermen de inzittenden beter dan auto's met 2 sterren.

Dezelfde analyse werd eerder al gemaakt door Langwieder et al. (2003), op basis van Britse en Franse ongevalgegevens van de periode 1993-1998. Hier werd reeds gevonden dat auto's met hogere veiligheidsscores de inzittenden beter beschermen. In het bijzonder viel op dat voornamelijk de kans op ernstige verwondingen significant daalt naarmate de veiligheidsscore stijgt. Hoewel de kans op verwondingen in het algemeen ook daalt, is deze daling minder uitgesproken. Dit is logisch: zelfs auto's met hoge veiligheidsscores kunnen bij een botsing lichte verwondingen vaak niet voorkomen.

Lie & Tingvall (2002) keken naar de reductie in de kans op ernstige en dodelijke verwondingen in Zweden bij een stijging van de Euro NCAP-veiligheidsscore. Voor elke extra ster merkte men een vermindering op van 12%. Voor lichte verwondingen werd geen relatie gevonden. Over het algemeen waren er 30% minder ernstige en dodelijke verwondingen in ongevallen met voertuigen met hoge veiligheidsscores ten opzichte van voertuigen met lage veiligheidsscores.

In een vervolgstudie door Kullgren et al. (2010) werd de kans op verwondingen bij ongevallen met voertuigen met twee en vijf sterren vergeleken. De kans op verwondingen, over alle verwondingscategorieën heen, was 10% lager bij auto's met vijf sterren dan bij auto's met twee sterren. Voor ernstige en dodelijke verwondingen was het verschil 23% en voor enkel dodelijke verwondingen was het verschil het grootst, met 69%.

In een recentere studie bevestigden Kullgren et al (2019) nogmaals dat de Euro NCAP-veiligheidsscores de uitkomsten van echte ongevalldata weerspiegelen. Opnieuw werden ongevallen met voertuigen met twee en vijf sterren vergeleken. De kans op ernstige en dodelijke verwondingen bij ongevallen met voertuigen met vijf sterren was 22% lager. De kans op enkel dodelijke verwondingen was 40% lager. Ten slotte werd ook vastgesteld dat de kans op het oplopen van een permanente fysieke beperking 42% lager was bij ongevallen met voertuigen met vijf sterren.

Over het algemeen zijn de verschillende studies het erover eens dat auto's met theoretische, hogere Euro NCAP-veiligheidsscores de inzittenden in de praktijk ook beter beschermen en de kans op ernstige verwondingen voor de inzittenden lager is dan in auto's met lagere Euro NCAP-veiligheidsscores. De grootte van de risicodalingen varieert van studie tot studie.

### 2.4.2 Kwetsbare weggebruikers

Naast de veiligheidsscore met vijf sterren gaf Euro NCAP tot en met het jaar 2017 ook een score voor de bescherming van voetgangers op een schaal van 0 tot 36, op basis van de bescherming bij een aanrijding en het correct functioneren van een Automatic Emergency Braking (AEB) systeem, als dit aanwezig is. Sinds 2018 is deze score voor voetgangers vervangen door een score voor kwetsbare weggebruikers, waaronder voor Euro NCAP voetgangers en fietsers vallen.

Strandroth et al. (2011) bestudeerden de correlatie tussen de letselernst bij voetgangers en de Euro NCAP-voetgangersscore. Er werd vastgesteld dat de kans dat een voetganger een ernstige verwonding oploopt bij een aanrijding door een auto met twee sterren 17% lager was dan bij een aanrijding door een auto met slechts één ster. De auto's met twee sterren hebben een gemiddelde voetgangersscore van 13,84 (op 36)

terwijl auto's met één ster gemiddeld slechts een voetgangersscore van 6,24 hebben. Bij deze vergelijking varieert dus zowel de sterscore als de voetgangersscore, wat het lastig maakt om aan te wijzen welke factor bepalend was voor het waargenomen effect, in het bijzonder omdat deze twee scores met elkaar verweven kunnen zijn. Hier werd in de studie geen verdere toelichting over gegeven. De analyse werd beperkt tot ongevallen aan een snelheid lager dan 50 km/u, omdat werd vastgesteld dat aan hogere snelheden er geen significant verschil is tussen auto's met één of twee sterren.

In een soortgelijke, recentere studie over de voetgangersscore vonden Strandroth et al. (2014) significante letselverminderingen voor zowel voetgangers als fietsers. Het verschil tussen voertuigen met lage en hoge voetgangerscores varieerde voor voetgangers tussen 20 en 56%. De vermindering van het risico op een hoofdletsel was het grootst met 80 tot 90%. Voor fietsers werd enkel een letselvermindering geobserveerd tussen voertuigen met een gemiddelde voetgangersscore en voertuigen met een hoge voetgangersscore. Het verschil was wel significant voor alle lichaamsdelen.

Ten slotte analyseerde Pastor (2013) Duitse ongevalgegevens en stelde vast dat een voetganger die getroffen wordt door een voertuig met een voetgangersscore van 22, 35% minder kans loopt op een dodelijke verwonding dan een voetganger die getroffen wordt door een voertuig met een score van vijf. Voor ernstige verwondingen was het verschil kleiner, met slechts 16% minder kans.

Kortom, de kans op ernstige verwondingen voor een voetganger getroffen door een voertuig met een hogere voetgangersscore is lager dan voor een voetganger getroffen door een voertuig met een lagere voetgangersscore.

## 2.5 Voertuigleeftijd

### 2.5.1 Auto-inzittenden

Khattak (2001) focuste op kop-staartaanrijdingen en toonde aan dat bestuurders in een nieuwer voertuig beter beschermd zijn bij kop-staartaanrijdingen dan inzittenden van een ouder voertuig, zowel wanneer ze in een nieuwer voertuig zitten dat achteraan aangereden wordt als wanneer ze in een nieuwer voertuig zitten dat op het voertuig ervoor botst.

Kockelmann & Kweon (2002) stelden aan de hand van probit regressie vast dat de letselernst van auto-inzittenden toeneemt naarmate de voertuigleeftijd toeneemt. De probit regressie staat niet toe om de grootte van het effect eenvoudig te kwantificeren terwijl dit bij logistische regressie wel mogelijk is.

Logistische regressie toegepast op de ongevalldata in Hong Kong door Yau (2004) toonde aan dat de kans op ernstige verwondingen 80% hoger is voor de inzittenden van een voertuig tussen vijf en negen jaar oud dan een voertuig jonger dan vijf jaar. Voor inzittenden van voertuigen ouder dan negen jaar is de kans op ernstige verwondingen meer dan dubbel zo groot als de kans op ernstige verwondingen voor inzittenden van een voertuig jonger dan vijf jaar.

Zeng et al. (2016) stelden vast dat de letselernst bij zowel inzittenden als opvoeren betrokken bij ongevallen met voertuigen met een bouwjaar na 2002 lager is dan bij ongevallen met voertuigen gebouwd voor 2002. Dit wijst op een algemene, positieve trend op vlak van bestuurdersbescherming.

Ten slotte noteerde Høye (2017) een toename van de kans op ernstige verwondingen van 2,3% voor de inzittenden per toename van één jaar.

Om te besluiten kunnen we stellen dat de wetenschappelijke literatuur de hypothese dat jonge voertuigen hun inzittenden beter beschermen dan oudere voertuigen bevestigt.

### 2.5.2 Kwetsbare weggebruikers

In de wetenschappelijke literatuur is weinig terug te vinden over de directe invloed van voertuigleeftijd op de letselernst bij kwetsbare weggebruikers. Voertuigleeftijd heeft wel een indirecte invloed doordat modernere voertuigen vaker uitgerust zijn met Automatic Emergency Braking (AEB-systemen) om botsingen te voorkomen of de mogelijke impact bij een botsing te verkleinen. Dit reflecteert zich in de gemiddeld hogere Euro NCAP-voetgangersscore, waarvan het effect uitvoerig besproken werd in sectie 2.4.2. Op die manier is de kans op

ernstige en dodelijke verwondingen lager bij een kwetsbare weggebruiker die getroffen wordt door een jonger voertuig dan bij een kwetsbare weggebruiker getroffen door een ouder voertuig.

## 2.6 Type personenwagen: SUV en pick-up

### 2.6.1 Auto-inzittenden

Kockelman & Kweon (2002) analyseerden tweezijdige en eenzijdige voertuigongevallen met verschillende voertuigcombinaties in een steekproef waarin 0,85% van alle ongevallen in de VS in 1998 opgenomen zijn. In tweezijdige voertuigongevallen hebben bestuurders van SUV's en pick-up trucks respectievelijk 24% en 23% minder kans om gewond te raken dan bestuurders van klassieke personenwagens. Wanneer de bestuurder van een personenwagen daarentegen in botsing komt met een SUV of pick-up truck, dan heeft deze respectievelijk 16% en 10% meer kans om gewond te raken.

Bij eenzijdige voertuigongevallen werd vastgesteld dat bestuurders van pick-up trucks 14% vaker gewond raken. Bovendien blijken "rollover"-crashes, waarbij het voertuig over een as rolt, de meest gevaarlijke te zijn. Opmerkelijk is dat SUV's en pick-up trucks hier vatbaarder voor zijn door hun hoger zwaartepunt. Zo rolde in deze steekproef 7,7% van de SUV's om, tegenover 4,7% van de pick-ups en slechts 2,3% van de personenwagens. Dit reflecteert zich ook in het aantal doden bij de verschillende voertuigtypes: 63% van de bestuurders die omkwamen in een SUV werden fataal verwond in een rollover-crash, tegenover 43% onder pick-upbestuurders en 22% onder personenwagenbestuurders.

In een grootschalige Canadese studie onderzochten Fredette et al. (2008) de kans op dodelijke verwondingen bij ongevallen met verschillende voertuigcombinaties. Uit een analyse van meer dan drie miljoen ongevallen is gebleken dat een ongeval voor een bestuurder bijna drie keer zo vaak (2,72x) fataal afloopt wanneer de opponent met een pick-up truck rijdt en ruim twee keer zo vaak (2,12x) wanneer de opponent met een SUV rijdt. Daarentegen zijn de kansen op dodelijke verwondingen bij de opponent (dus de bestuurder van de pick-up of SUV) respectievelijk 26% en 29% lager. Verder werd er vastgesteld dat ongevallen waarbij een pick-up truck betrokken is altijd de gevaarlijkste zijn, ongeacht de grootte van het massaverschil.

Zeng et al. (2016) constateerden in een studie gebaseerd op ongevallenstatistieken van 2007 in Florida dat de kans om gewond te raken bij een ongeval 27% lager is wanneer men met een pick-up truck rijdt, terwijl de kans net 58% hoger is wanneer de opponent met een pick-up truck rijdt.

In een studie gebaseerd in Iran, onderzochten Arefkhani et al. (2019) de "incompatibiliteit" van ongevallen tussen twee auto's. Dit wordt gedefinieerd in functie van de "crashbestendigheid", ofwel de capaciteit van een voertuig om zijn bestuurder te beschermen bij botsingen, en de "crash-agressiviteit", ofwel de impact op de letselernst van de opponent. Uit de studie is gebleken dat pick-up trucks een hogere crashbestendigheid en crash-agressiviteit hebben dan personenwagens. Zo is de kans om gewond te raken bij een ongeval 15% lager wanneer je zelf met een pick-up truck rijdt en 20% hoger wanneer je met een pick-up truck in aanrijding komt, zeer vergelijkbare cijfers als in de studie (Kockelman & Kweon, 2002) van bijna 20 jaar eerder.

Samengevat gelden voor pick-up trucks en SUV's gelijkaardige principes of "wetten" zoals voor voertuigmassa:

1. Inzittenden van pick-up trucks en SUV's hebben minder kans om ernstige verwondingen op te lopen dan inzittenden van personenwagens.
2. Opponenten getroffen door een pick-up truck of SUV hebben meer kans om ernstige verwondingen op te lopen dan opponenten getroffen door een personenwagen.

### 2.6.2 Kwetsbare weggebruikers

Eén van de eerste studies waarin de mogelijke invloed van pick-up trucks en SUV's op letselernst bij voetgangers onderzocht werd is een studie uit de VS, uitgevoerd door Ballesteros et al. (2004). In vergelijking met personenwagens hebben voetgangers die geraakt worden door een SUV of pick-up truck 48% meer kans om een zware blessure op te lopen en 72% meer kans op overlijden. Deze bevindingen verdwenen echter wanneer voertuigmassa en snelheid in rekening werden genomen. Dit wijst erop dat de toenames in letselernst eerder toe te wijzen zijn aan de grotere gemiddelde massa van SUV's en pick-up trucks en een mogelijk hogere gemiddelde snelheid die door deze voertuigen gereden wordt. Deze stelling wordt enigszins bevestigd door de grotere proportie ongevallen die plaatsvonden in zones met hogere snelheidslimieten (40+ mph ofwel sneller

dan 64 km/u): 23% van de ongevallen met SUV's tegenover 19% bij pick-up trucks en 13% bij personenwagens.

Een vergelijkbare stijging (86%) van het overlijdensrisico van voetgangers die geraakt worden door een SUV of pick-up truck werd gevonden in een studie in North Carolina door Kim et al. (2008). Daarentegen werd er geen stijging waargenomen door Uddin & Ahmed (2018) in een studie uitgevoerd in Ohio. Een veel kleinere stijging van respectievelijk 8,6% en 12,3% van het risico op zware verwondingen bij voetgangers die geraakt werden door respectievelijk een SUV en een pick-up truck werd vastgesteld door Pour-Rouholamin & Zhou (2016) op basis van ongevalgegevens in Illinois.

Recent analyseerden Batouli et al. (2020) ongevalldata in Colorado van 2006 tot 2016 en stelden ze vast dat voetgangers die door een SUV of pick-up truck geraakt worden respectievelijk 59% en 96% meer kans hebben om te overlijden dan voetgangers die geraakt worden door een personenwagen. Recentelijk stelden Edwards & Leonard (2022) vast dat een kind getroffen door een SUV 8 keer meer kans heeft om te overlijden dan een kind getroffen door een personenwagen. Bovendien merkte men op dat pick-up trucks en SUV's oververtegenwoordigd zijn in ongevallen met fatale afloop: hoewel pick-up trucks en SUV's respectievelijk betrokken zijn in slechts 5,6% en 14,7% van de ongevallen met voetgangers, zijn ze respectievelijk verantwoordelijk voor 12,6% en 25,4% van de doden.

Om deze sectie samen te vatten kunnen we stellen dat het effect van de voertuigtypes op de letselernst bij kwetsbare weggebruikers varieert in grootte, maar dat er soms ook geen effect gevonden wordt. Wanneer er een effect vastgesteld wordt, besluit men dat een voetganger getroffen door een SUV of pick-up truck meer kans loopt op ernstige verwondingen dan een voetganger getroffen door een personenwagen. Om de invloed van deze voertuigtypes op de letselernst definitief vast te stellen, is bijkomend onderzoek nodig, liefst onderzoek waarin gecontroleerd wordt voor voertuigmassa en ongevalskenmerken zoals snelheid.

Ten slotte merken we op dat de bovengenoemde studies allemaal uitgevoerd zijn in de VS. De weginfrastructuur in de VS verschilt enigszins van die in Europa en ook de doorsnee Amerikaanse wagen is wat groter dan de doorsnee Europese wagen. Enige voorzorg is dus aangeraden bij het vertalen van deze resultaten naar een Europese context. Het feit dat bijna alle studies eenzelfde crashagressieve en crashbestendige aard van SUV's en pick-up trucks vinden, doet wel vermoeden dat SUV's en pick-up trucks in Europa, hoewel ze wellicht wat kleiner zijn dan de SUV's en pick-up trucks in de VS, eenzelfde karakter hebben.

## 2.7 Elektrische personenwagens

### 2.7.1 Auto-inzittenden

Elektrische wagens zijn nog volop aan hun opmars bezig en bijgevolg rijden er momenteel nog steeds relatief weinig batterij-elektrische voertuigen (BEV's) rond. Logischerwijze zijn ze dan ook, in absolute termen, nog minder vaak betrokken bij ongevallen dan voertuigen die op fossiele brandstoffen rijden. Wetenschappelijke studies waarin ongevallenkarakteristieken onderzocht worden zijn evenzeer schaars. Liu et al. (2022) voerden één van de eerste studies toegewijd aan dit onderwerp uit in Noorwegen – het land dat het verst staat met de elektrificatie van het wagenpark.

Het aandeel ongevallen waarbij een elektrisch voertuig betrokken is steeg in de periode 2011-2018 in Noorwegen van 0% naar 3,11%. Op vlak van letselernst bij de betrokkenen verschillen ongevallen met BEV's niet van ongevallen met voertuigen op fossiele brandstoffen, ondanks de grotere massa van BEV's die ze te danken hebben aan hun grote en zware batterijen. Wellicht wordt het effect van de grotere massa, die voor ernstigere letsels zou kunnen zorgen bij de opponent, tenietgedaan door het feit dat BEV's nieuw zijn en dus beter uitgerust zijn (met ADAS<sup>14</sup> zoals Automatic Emergency Braking) om zowel inzittenden als opponenten te beschermen.

### 2.7.2 Kwetsbare weggebruikers

Het geluid van een voertuig in beweging is een combinatie van motorgeluid en geluid van de rollende banden. De elektrische motor van een elektrisch voertuig zendt bijna geen geluid uit. Vooral bij lage snelheden (tot ongeveer 30-50 km/u) zijn elektrische voertuigen significant stiller dan voertuigen met een verbrandingsmotor;

<sup>14</sup> ADAS staat voor "Advanced Driver Assistance Systems" of "rijhulpsystemen".

aan hogere snelheden neemt het geluid van de rollende banden over en is er weinig verschil tussen de voertuigen.

Elektrische voertuigen zijn dus vooral binnen de bebouwde kom, aan snelheden onder 50 km/u, stiller dan voertuigen met een verbrandingsmotor. Dit kan een impact hebben op de verkeersveiligheid: een kwetsbare weggebruiker kan een elektrisch voertuig eventueel niet opmerken op basis van het geluid, terwijl ze een voertuig met verbrandingsmotor van verder kunnen horen aankomen. Een gedetailleerde enquête uitgevoerd bij 32 bestuurders van BEV's in België wijst uit dat 44% (+- 9%) van de bestuurders wel eens heeft meegemaakt dat een kwetsbare weggebruiker hen niet opmerkte omwille van het gebrek aan geluid (Dons et al., 2023). 56% van de BEV-bestuurders geeft aan hun rijgedrag te hebben aangepast om hier rekening mee te houden.

Een analyse van de ongevalgegevens in Noorwegen door Liu et al. (2022) bevestigt dat ongevallen met kwetsbare weggebruikers vaker voorkomen met BEV's dan met voertuigen op fossiele brandstoffen: 31,5% van de ongevallen met BEV's waren botsingen met kwetsbare weggebruikers ten opzichte van slechts 20,3% van de ongevallen met voertuigen op fossiele brandstoffen.

## 2.8 Samenvatting literatuur

De belangrijkste conclusies uit de literatuur worden samengevat in de onderstaande tabel. Wat betreft de continue variabelen worden een toename en afname van de kans op ernstige of dodelijke letsels respectievelijk aangeduid met een "+" en een "-". Wanneer geen effect gevonden wordt, wordt dit aangeduid met een "=".

Een combinatie "+=" duidt op het feit dat sommige studies een stijging noteren terwijl andere geen effect vinden. Een lege cel reflecteert het feit dat we hiervoor geen literatuur gevonden hebben. Voor categorische variabelen, zoals bijvoorbeeld SUV, geldt een analoge notatie, maar hierbij wordt het effect ten opzichte van een referentiecategorie gemodelleerd, die als tweede in de eerste kolom staat. Omdat in de literatuur variërende effectgroottes gevonden worden, wordt in onderstaande tabel enkel de "richting" van het effect aangeduid. Om een idee te hebben van de effectgroottes verwijzen we de lezer naar de voorgaande secties, waar de literatuur uitvoerig besproken wordt.

Tabel 7: Relatie tussen voertuigkenmerken en letselernst bij auto-inzittenden, auto-opponenten en kwetsbare weggebruikers, op basis van de literatuurstudie.

	Auto-inzittenden		Tegenpartij: auto-opponenten		Tegenpartij: kwetsbare weggebruikers	
	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels	Kans op ernstige letsels	Kans op dodelijke letsels
Toename van massa	-	-	+	+		+=
Toename van vermogen						
Toename van de motorkaphoogte			+		+	+
Toename van de Euro NCAP-score	-	-			- (score voetgangers)	- (score voetgangers)
SUV t.o.v. niet-SUV	-	-	+	+	+=	+=
Pick-up t.o.v. niet-pick-up	-	-	+	+	+=	+=
Elektrische wagen t.o.v. niet-elektrische wagen <sup>15</sup>	=	=	=	=	=	=
Toename van voertuigleeftijd	+	+	+ <sup>16</sup>	+	+ <sup>17</sup>	+

<sup>15</sup> Over dit thema was slechts één studie te vinden en hierin werd geen significant verschil gevonden op vlak van letselernst tussen ongevallen met elektrische wagens enerzijds en ongevallen met wagens met een verbrandingsmotor anderzijds.

<sup>16</sup> Opponenten aangereden door een moderner voertuig in een kop-staartaanrijding heeft minder kans op ernstige letsels dan wanneer ze aangereden worden door een ouder voertuig.

<sup>17</sup> Voetgangers getroffen door modernere voertuigen hebben minder kans op ernstige letsels door de aanwezigheid van moderne veiligheidssystemen zoals Automatic Emergency Braking (AEB).



## 3 Data en methodes

### 3.1 Gegevensbronnen

Voor deze studie werden de officiële ongevalgegevens, afkomstig van de ongevallenregistratie door de politie, verrijkt met gegevens uit verschillende gegevensbronnen:

- 1) DIV-voertuigendatabank. Deze databank is afkomstig van de FOD Mobiliteit en Vervoer en bevat voertuiginformatie over de in België ingeschreven voertuigen. Deze databank bevat o.a. de volgende variabelen: massa, vermogen, voertuigleeftijd, brandstoftype, voertuigtype (SUV pick-up, etc.) en type titularis (privéwagen versus bedrijfswagen). Deze databank bevat geen informatie over buitenlandse voertuigen die op Belgische wegen rijden.
- 2) Euro NCAP-veiligheidsbeoordeling. Euro NCAP beoordeelt de veiligheid van voertuigen, uitgerust met de standaardveiligheidsuitrusting<sup>18</sup>, door middel van o.a. crashtests en een evaluatie van de veiligheidsuitrusting van wagens. De Euro NCAP-veiligheidsbeoordeling resulteert in o.a. volgende variabelen: algemene veiligheidsscore (score van nul tot vijf sterren), score voor volwassen inzittenden (van 0 tot 100 %), score voor kinderen als inzittenden (van 0 tot 100 %), score voor kwetsbare weggebruikers (van 0 tot 100 %), en een score "safety assist" over rijhulpsystemen (van 0 tot 100 %).
- 3) Verscheidene gegevensbronnen over motorkaphoogte. Om de motorkaphoogte te bepalen werden verschillende gegevensbronnen met schetsen van automodellen geraadpleegd. De motorkaphoogte werd via manuele metingen van deze schetsen afgeleid. De bijlage bevat een beschrijving over hoe de motorkaphoogte per automodel gemeten werd.

De verrijking van de officiële ongevalgegevens met bovengenoemde gegevensbronnen werd uitgevoerd aan de hand van koppelingen op basis van gemeenschappelijke variabelen zoals nummerplaat (gepseudonimiseerde versie), chassisnummer (gepseudonimiseerde versie), automodel, Euro NCAP-testjaar en jaar van eerste registratie van een voertuig in België. Een gedetailleerde technische beschrijving over de koppelingen bevindt zich in bijlage.

### 3.2 Analysestrategie

Het doel van dit rapport is om de impact van de kenmerken van personenwagens op letselernst te bestuderen, enerzijds op de auto-inzittenden zelf, anderzijds op de tegenpartij, waarbij we ons beperken tot kwetsbare weggebruikers en personenwagens.

De studie naar letselernst wordt geoperationaliseerd door een dichotome afhankelijke variabele te maken: een eerste categorie van de afhankelijke variabele bestaat uit ongedeerden en lichtgewonden, een tweede categorie uit zwaargewonden en doden. Deze dichotome afhankelijke variabele wordt geanalyseerd door middel van een statistisch model, meer specifiek een logistische regressie. Logistische regressie is de meest gebruikte statistische techniek om een dichotome uitkomst, in dit geval "lichtgewonden en ongedeerden" versus "zwaargewonden en doden", te voorspellen. Door middel van dit statistisch model wordt nagegaan wat het effect is van voertuigkenmerken op letselernst. Dezelfde procedure wordt toegepast op een tweede dichotome afhankelijke variabele bestaande uit een categorie ongedeerden, lichtgewonden en zwaargewonden enerzijds, en doden anderzijds.

In een logistische regressie worden effecten uitgedrukt aan de hand van odds-ratio's. De betekenis van een odds-ratio kunnen we illustreren aan de hand van een voorbeeld. Stel dat de odds-ratio van "pick-up" (versus geen pick-up) gelijk is aan 1,5 dan betekent dit dat een pick-up de odds/kans op ernstige of dodelijke verwondingen met 50% verhoogt. Alhoewel vanuit statistisch oogpunt de begrippen "odds" en "kans" niet hetzelfde zijn, wordt wegens communicatieve redenen in dit rapport steeds de term "kans" gebruikt terwijl het in principe om de "odds" gaat. In het hoofdstuk "terminologie" wordt het begrip odds-ratio in meer detail

---

<sup>18</sup> In uitzonderlijke gevallen staat Euro NCAP toe dat de geteste auto voorzien is van als optie leverbare veiligheidstechnologieën, maar alleen als de optie leverbaar is op een groot aantal verkochte auto's en alleen gedurende een korte introductieperiode. (Bron: <https://www.Euro-NCAP.com/nl/euro-ncap/toelichting-bij-de-selectie-van-autos/>). In dat geval wordt echter ook steeds de veiligheid beoordeeld en gerapporteerd van de auto met de standaarduitrusting.

uitgelegd en wordt ook verklaard waarom het in dit rapport gerechtvaardigd is om de term "kans" in plaats van de term "odds" te gebruiken.

Naast het effect van elk voertuigkenmerk rapporteren we ook de statistische significantie van elk effect. Wanneer een effect statistisch significant is, wil dit zeggen dat het aannemelijk is dat het niet op toeval berust. Er zijn verschillende significantieniveaus variërend van "significant" tot "zeer significant", weergegeven als volgt: \*  $p < ,05$  ("significant"); \*\*  $p < ,01$ ; \*\*\*  $p < ,001$  ("zeer significant").

In het hoofdstuk "resultaten en discussie" worden voertuigkenmerken ingedeeld in twee groepen. De ene groep bevat voertuigkenmerken met een direct effect op letselernst. Hieronder vallen voertuigmassa, voertuigvermogen, motorkaphoogte en Euro NCAP-veiligheidsscores. De andere groep bevat voertuigkenmerken met een indirect effect op letselernst. Een voorbeeld hiervan is het voertuigkenmerk pick-up dat aangeeft of een personenwagen een pick-up is of niet. De redenering is dat een pick-up niet intrinsiek de letselernst beïnvloedt maar dit indirect doet via bijvoorbeeld zijn bovengemiddelde massa, vermogen en motorkaphoogte. Andere voertuigkenmerken die in dit rapport als "indirect" worden beschouwd zijn "SUV", "elektrische voertuigen" en voertuigleeftijd.

Directe voertuigkenmerken worden geanalyseerd door middel van een univariate logistische regressie. In het geval van voertuigmassa wil dit bijvoorbeeld zeggen dat louter de relatie tussen voertuigmassa en letselernst wordt onderzocht zonder rekening te houden met andere voertuigkenmerken. In het statistisch model is dan sprake van één voorspellende variabele, nl. voertuigmassa, en één afhankelijke variabele, nl. letselernst.

Indirecte voertuigkenmerken worden eerst geanalyseerd door middel van een univariate logistische regressie. Daarna wordt dit aangevuld met een multivariate analyse. In het statistisch model is dan sprake van meerdere voorspellende variabelen, bijvoorbeeld pick-up, massa, vermogen en motorkaphoogte. In de multivariate modellering wordt telkens één indirect voertuigkenmerk als voorspellende variabele, bv. pick-up, gecombineerd met de directe voertuigkenmerken als voorspellende variabelen. Dit heeft als bedoeling om aan de hand van de directe voertuigkenmerken te verklaren waarom een indirect voertuigkenmerk een impact heeft op letselernst.

## 4 Resultaten en discussie

### 4.1 Voertuigkenmerken met een direct effect op letselernst

#### 4.1.1 Samenhang tussen voertuigkenmerken

In sectie 4.1 beschrijven we het effect van vier directe voertuigkenmerken op de kans op ernstige verwondingen enerzijds en dodelijke verwondingen anderzijds. Belangrijk om weten is dat deze vier voertuigkenmerken niet volledig onafhankelijk zijn van elkaar maar aan elkaar gecorreleerd zijn (Tabel 8).

In Tabel 8 zien we dat de hoogste positieve correlatie optreedt tussen voertuigmassa en voertuigvermogen ( $r = ,61$ ;  $p < ,001$ ). Deze correlatie met een positief teken betekent dat personenwagens met een bovengemiddelde massa doorgaans ook een bovengemiddeld vermogen hebben. Ook zien we dat beide van deze voertuigkenmerken positief correleren met motorkaphoogte al is de correlatie minder sterk. De correlatie bedraagt  $,37$  ( $p < ,001$ ) tussen voertuigmassa en motorkaphoogte en  $,24$  ( $p < ,001$ ) tussen voertuigvermogen en motorkaphoogte.

Wat betreft de Euro NCAP 5-sterrenbeoordeling vertellen de licht positieve correlaties (Tabel 8) dat personenwagens met een hogere massa en een hoger vermogen doorgaans meer sterren krijgen. Dit betekent dat personenwagens met een hogere massa en een hoger vermogen beter scoren op de Euro NCAP-crashtests en een betere veiligheidsuitrusting hebben dan gemiddelde personenwagens. Tussen de Euro NCAP 5-sterrenbeoordeling en motorkaphoogte treedt een negatieve correlatie op: wagens met een bovengemiddelde motorkaphoogte krijgen dus gemiddeld een minder goede veiligheidsevaluatie door Euro NCAP.

Tabel 8: Correlaties tussen variabelen die letselernst direct beïnvloeden.

	Voertuigmassa	Voertuigvermogen	Motorkaphoogte	Euro NCAP 5-sterrenbeoordeling
Voertuigmassa	1	,61	,37	,09
Voertuigvermogen	,61	1	,24	,21
Motorkaphoogte	,37	,24	1	-,36
Euro NCAP 5-sterrenbeoordeling	,09	,21	-,36	1

#### 4.1.2 Voertuigmassa

##### 4.1.2.1 Absolute massatoename

De risico's op ernstige en dodelijke verwondingen voor inzittenden van personenwagens die 300 kg zwaarder zijn dan gemiddeld en voor inzittenden van personenwagens en kwetsbare weggebruikers aangereden door een wagen die 300 kg zwaarder is dan gemiddeld worden getoond in Tabel 9.

Tabel 9: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een massatoename van 300 kg.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van personenwagens (+ 300 kg)	0,684	<,001 ***	0,522	<,001 ***
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door een andere wagen (+ 300 kg)	1,372	<,001 ***	1,766	<,001 ***
Voor kwetsbare weggebruikers aangereden door wagens (+ 300 kg)	1,074	,030 *	1,282	,011*

#### 4.1.2.1.1 Eigen personenwagen

Onze analyse toont aan dat voertuigmassa een belangrijke rol speelt in tweezijdige auto-ongevallen. Zo hebben inzittenden van een personenwagen die 300 kg zwaarder is dan een andere personenwagen 31,6% minder kans om een ernstige verwonding op te lopen en 47,8% minder kans om dodelijk gewond te raken. De toename in massa biedt dus bescherming voor de inzittenden.

Deze cijfers zijn van een vergelijkbare grootteorde als de gemiddelde risicodaling die in de literatuur gevonden werd: voor een toename van 100 kg stelde men in (Høye, 2017) een daling van 7,5% van de kans op ernstige of dodelijke verwondingen vast. Een toename van 300 kg komt overeen met een risicodaling van 24,2%.

#### 4.1.2.1.2 Opponent-personenwagen

Naast het beschermende effect van massa van de eigen wagen nemen we ook een toenemende "agressiviteit" waar naarmate de massa van het voertuig van de opponent toeneemt. Zo hebben de inzittenden van een personenwagen die getroffen wordt door een wagen die 300 kg zwaarder is dan gemiddeld 37,2% meer kans op ernstige verwondingen en 76,6% meer kans op dodelijke verwondingen.

Deze cijfers liggen iets hoger dan de gemiddelde risicoverhoging die in de literatuur gevonden werd: voor een toename van 100 kg stelde men in (Høye, 2017) een verhoging van 6,6% van de kans op ernstige of dodelijke verwondingen bij de tegenpartij vast. Een toename van 300 kg komt overeen met een risicoverhoging van 21,1%. Dit gemiddelde is berekend op basis van de resultaten van vier onafhankelijke studies. De effectgroottes bij deze studies variëren ook, waardoor we kunnen besluiten dat onze cijfers niet uitzonderlijk hoog zijn.

#### 4.1.2.1.3 Kwetsbare weggebruikers

Onze analyse toont aan dat voertuigmassa ook bepalend kan zijn voor de letselernst van kwetsbare weggebruikers wanneer zij aangereden worden door een personenwagen. De gemiddelde massa van een personenwagen is 1397 kg. Bij een aanrijding door een 300 kg zwaardere wagen stijgt de kans op ernstige verwondingen met 7,4% en op dodelijke verwondingen met 28,2%.

### 4.1.2.2 Massaverhouding

Aangezien voertuigmassa zowel een beschermend effect heeft voor de inzittenden als een agressief effect ten opzichte van de opponent is het zinvol om de massaverhouding tussen het voertuig van het slachtoffer en het voertuig van de opponent te definiëren.

Tabel 10: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij verschillende massaverhouding tussen het voertuig van het slachtoffer en het voertuig van de opponent.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Massaverhouding slachtoffer t.o.v. opponent (ref. gelijkaardig 0,8 – 1,2)				
Zeer klein (< 0,5)	2,804	<,001 ***	1,166	,879 NS
Klein (0,5 – 0,8)	1,598	<,001 ***	1,473	,028 *
Groot (1,2 – 1,5)	0,686	<,001 ***	0,362	<,001 ***
Zeer groot (> 1,5)	0,407	<,001 ***	/	/

De analyse toont aan dat wanneer de massaverhouding zeer klein is, met andere woorden wanneer het voertuig van de opponent minstens tweemaal zo zwaar is (bijvoorbeeld bij een botsing tussen een voertuig van 1000 kg en 2000 kg), de inzittenden van het lichte voertuig bijna 3 keer meer kans hebben om een ernstige verwonding op te lopen dan wanneer de twee voertuigen een vergelijkbare massa hebben. Wanneer de voertuigmassa 50 tot 80% bedraagt van de massa van de opponent dan nemen we een stijging van de kans op ernstige verwondingen met 59,8% waar. Wanneer de massaverhouding groter dan 1,2 is – en het slachtoffer dus in een voertuig zit dat zwaarder is dan dat van de opponent – dan daalt zijn kans op ernstige verwondingen met 31,4% en met 59,3% wanneer het verschil zeer groot is. De effecten zijn minder significant voor dodelijke verwondingen omwille van een klein aantal doden in de verschillende categorieën. We verwachten hier hetzelfde patroon waar te nemen, mogelijks zelfs met grotere effecten zoals in de literatuur.

## 4.1.3 Voertuigvermogen

Tabel 11: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in het vermogen van 50 kW.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van personenwagens (+ 50 kW)	0,454	<,001 ***	0,354	,003 **
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door een andere wagen (+ 50 kW)	1,537	<,001 ***	2,275	<,001 ***
Voor kwetsbare weggebruikers aangereden door wagens (+ 50 kW)	1,069	,197 NS	1,215	,093 <sup>19</sup>

### 4.1.3.1 Eigen personenwagen

Uit onze analyse blijkt dat inzittenden van personenwagens die 50 kW meer vermogen hebben dan een ander voertuig 54,6% minder kans hebben om een ernstige verwonding op te lopen en 64,6% minder kans op dodelijke verwondingen dan inzittenden van dat andere voertuig.

Een mogelijke verklaring voor deze observaties is te vinden in de sterke correlatie (correlatiecoëfficiënt  $r = 0,61$ ) tussen massa en vermogen: zwaardere voertuigen hebben een gemiddeld hoger vermogen en omgekeerd. In sectie 4.1.1 werd het beschermende en agressieve effect van voertuigmassa vastgesteld.

### 4.1.3.2 Opponent-personenwagen

Naast het beschermende effect van vermogen van de eigen wagen nemen we ook een toenemende "agressiviteit" waar naarmate het vermogen van het voertuig van de opponent toeneemt. Zo hebben de inzittenden van een personenwagen die getroffen wordt door een wagen die 50 kW meer vermogen heeft dan gemiddeld 53,7% meer kans op ernstige verwondingen en 127,5% meer kans op dodelijke verwondingen.

Ook hier biedt de sterke correlatie tussen massa en vermogen een mogelijke verklaring voor de risicoverhogingen. Anderzijds gaat een hoger vermogen vaak gepaard met een sportievere rijstijl, met eventueel botsingen aan hogere snelheden als gevolg. Deze bewering wordt gestaafd door de wetenschappelijke literatuur: in een studie naar het effect van vermogen op snelheid werd in (McCartt & Hu, 2017) vastgesteld dat bestuurders van krachtige voertuigen meer geneigd zijn om sneller of boven de maximumsnelheid te rijden. Ook volgens (Krahé & Fenske, 2002) hebben bestuurders van krachtige wagens gemiddeld een agressievere rijstijl.

### 4.1.3.3 Kwetsbare weggebruikers

De resultaten in Tabel 11 suggereren een stijging van de kans op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers naarmate het vermogen van de opponent-personenwagen stijgt, maar deze resultaten zijn niet statistisch significant.

## 4.1.4 Motorkaphoogte

Tabel 12: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de motorkaphoogte van 10 cm.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van personenwagens (+ 10 cm)	0,955	,419 NS	1,019	,908 NS
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door een andere wagen (+ 10 cm)	0,999	,995 NS	1,073	,653 NS

<sup>19</sup> Een "." wil zeggen dat een effect bijna statistisch significant is: de p-waarde ligt dan tussen ,05 en < ,1

Voor kwetsbare weggebruikers aangereden door wagens (+ 10 cm)	1,031	,356 NS	1,269	,015 *
---	-------	---------	-------	--------

#### 4.1.4.1 Eigen personenwagens

In de artikels opgenomen in de literatuurstudie werd niets vermeld over een eventueel beschermend effect van een hogere motorkap van de eigen personenwagens. Uit onze analyse komen ook geen statistisch significante effecten voort.

#### 4.1.4.2 Opponent-personeuwagens

De wetenschappelijke literatuur wijst op een toenemende agressiviteit naarmate de motorkaphoogte van de opponent-personeuwagens toeneemt. Daarnaast verschuiven de verwondingen van de heup naar het bovenlichaam, met ernstigere verwondingen tot gevolg. Onze analyse kan deze bevindingen niet bevestigen. We nemen geen stijging noch daling op de kans op ernstige verwondingen waar bij een toename van de motorkaphoogte van de opponent-personeuwagen met 10 cm. De kans op dodelijke verwondingen stijgt wel met 7%, maar dit effect is eveneens niet statistisch significant.

#### 4.1.4.3 Kwetsbare weggebruikers

De meeste artikels in de literatuurstudie wijzen aan dat het risico op ernstige en dodelijke letsels bij voetgangers stijgt naarmate de motorkaphoogte van het voertuig dat hen aanrijdt, stijgt. In onze analyse, die betrekking heeft op alle kwetsbare weggebruikers, komen we tot dezelfde bevinding. De gemiddelde motorkaphoogte van een personenwagen is 80 cm. Bij een toename met 10 cm in de hoogte van de motorkap neemt de kans op dodelijke verwondingen met 26,9% toe. Gezien de literatuur focust op voetgangers, hebben we in de analyse ook het specifieke effect voor enkel voetgangers nagegaan, maar dan wordt de steekproef te klein om tot statistisch significante resultaten te komen.

### 4.1.5 Euro NCAP-veiligheidsscores

Tabel 13: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de Euro NCAP-ster score met 1 ster voor inzittenden van personenwagens.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van personenwagens (+ 1 ster op een schaal van 0 tot 5 sterren)	0,921	,251 NS	0,957	,83 NS
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door een andere wagen (+ 1 ster op een schaal van 0 tot 5 sterren)	1,248	,005 **	1,485	,121 NS

Tabel 14: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij volwassenen en kinderen bij respectievelijk een toename in de Euro NCAP Adult Occupant en Child Occupant score met 10%.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor volwassen inzittenden van personenwagens (+ 10 punten Adult Occupant score op een schaal van 0 tot 100)	0,966	,554 NS	0,929	,64 NS
Voor kinderen in personenwagens (+ 10 punten Child Occupant score op een schaal van 0 tot 100)	0,834	,548 NS	/	/

#### 4.1.5.1 Eigen personenwagens

Inzittenden van personenwagens die 1 ster meer hebben op de Euro NCAP-ster score dan een andere wagen lopen 7,9% minder kans op ernstige verwondingen en 4,3% minder kans op dodelijke verwondingen. Deze effecten werden echter niet significant bevonden. Toch liggen de niet-significante resultaten in de lijn van andere studies, waarin gevonden werd dat wagens met hogere ster scores hun inzittenden beter beschermen. Ter herinnering, in de studie (Lie & Tingvall, 2002) noteerde men een reductie van het risico op ernstige en dodelijke verwondingen van 12% per ster.

Naast de Euro NCAP-sterrenbeoordeling brengt Euro NCAP ook een "Adult Occupant" en "Child Occupant" score uit op een schaal van 0 tot 100. Deze geven respectievelijk weer hoe goed de wagen een volwassen inzittende en een kind beschermen. Voor een toename van de Adult Occupant score met 10 punten lijkt de kans op ernstige verwondingen bij een volwassen inzittende te dalen met 3,4%. De kans op dodelijke verwondingen daalt bij eenzelfde toename met 7,1%. Hoewel deze effecten niet statistisch significant zijn, suggereren ze wel een dalende trend naarmate de score stijgt. Voor eenzelfde toename van de Child Occupant score lijkt de kans op ernstige verwondingen voor een kind met 16,6% te dalen (tevens niet statistisch significant). Er is onvoldoende data beschikbaar om de kans op dodelijke verwondingen te modelleren. Geen van de gevonden effecten zijn statistisch significant. Naarmate meer data kunnen verzameld worden en de steekproef groter wordt, zullen de gevonden effecten met een grotere zekerheid kunnen geponeerd worden.

#### 4.1.5.2 Opponent-personenwagens

Voor elke additionele ster die de opponent-personenwagen heeft op de ster score, lopen de inzittenden van een personenwagen getroffen door deze opponent-personenwagen 24,8% meer kans op ernstige verwondingen. Bovendien is de risicoverhoging op ernstige verwondingen statistisch significant. Wagens met hogere ster scores, die op basis van veiligheidstesten veiliger worden bevonden dan wagens met lagere ster scores, brengen dus vaker ernstige letsels teweeg bij de tegenpartij.

Een verklaring hiervoor is te vinden in de significante correlatie tussen een hogere ster score en een hogere voertuigmassa en -vermogen. De gemiddelde massa van een wagen met 5 sterren bedraagt 1414 kg, ongeveer 250 kg meer dan die van een wagen met 4 sterren (1167 kg). Een wagen met 5 sterren heeft gemiddeld ook 21 kW meer vermogen dan een wagen met 4 sterren. Uit de voorgaande analyses in secties 4.1.2 en 4.1.3 blijkt dat een hogere massa en vermogen gepaard gaan met risicoverhogingen voor ernstige letsels bij de tegenpartij. Wat de verklarende rol van massa en vermogen verder staft, is het feit dat wanneer we voor massa en vermogen corrigeren door deze variabelen aan het model toe te voegen, de risicoverhogingen door de hogere Euro NCAP-scores dalen van 25% naar 15% en van 49% naar 27%. Massa en vermogen bieden dus een gedeeltelijke verklaring voor de vaststelling dat wagens met hogere Euro NCAP-sterrenbeoordelingen "agressiever" zijn ten opzichte van de tegenpartij.

#### 4.1.5.3 Kwetsbare weggebruikers

Tabel 15: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij voetgangers en fietsers bij een toename in de Euro NCAP Vulnerable Road Users score met 10%.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor voetgangers en fietsers aangereden door wagens (+ 10 punten VRU score op een schaal van 0 tot 100)	1,003	0,984 NS	0,557	0,237 NS

Naast de veiligheidsscore met vijf sterren gaf Euro NCAP tot en met het jaar 2017 ook een score voor de veiligheid van voetgangers bij een aanrijding met een personenwagen. Sinds 2018 is deze score voor voetgangers vervangen door een score voor kwetsbare weggebruikers (= "VRU score"). Hieronder worden door Euro NCAP voetgangers en fietsers gerekend. Daarom beperken we ons in onze analyse ook tot deze weggebruikers. De score gaat van 0 tot 100 waarbij 100 staat voor de hoogst mogelijke bescherming voor kwetsbare weggebruikers.

Voor deze studie onderzochten we het effect van de Euro NCAP-score "kwetsbare weggebruikers" maar er kon geen statistisch significant effect gevonden worden, noch wat betreft ernstige verwondingen noch wat betreft

dodelijke verwondingen. Vermoedelijk is de steekproef te klein om conclusies te trekken: slechts voor vijf omgekomen kwetsbare weggebruikers is de Euro NCAP-score “kwetsbare weggebruikers” van de personenwagen die hun aangereden heeft gekend.

## 4.2 Voertuigkenmerken met een indirect effect op letselernst

### 4.2.1 Type personenwagen: SUV en pick-up

Tabel 16: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een SUV betrokken is in een letselongeval.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van SUV's	0,735	<,001 ***	0,482	,007 **
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door SUV's	1,180	,011 *	0,943	,777 NS

Tabel 17: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een pick-up betrokken is in een letselongeval.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van pick-ups	0,359	<,001 ***	0,311	,244 NS
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door pick-ups	1,497	,014 *	1,059	,899 NS

#### 4.2.1.1 Eigen personenwagens

De literatuurstudie leert ons dat inzittenden van SUV's een lager risico lopen op ernstige en dodelijke verwondingen dan inzittenden van personenwagens. Dit nemen we ook waar in onze analyse. Inzittenden van SUV's hebben 26,5% minder kans om een ernstige verwonding op te lopen dan inzittenden van personenwagens. Voor dodelijke verwondingen neemt het effect zelfs toe tot een halvering van het risico. Deze vaststellingen zijn statistisch significant ( $p < 0,01$ ) en van een gelijkaardige grootteorde als de bevindingen van de literatuurstudie.

Wanneer we in de analyse corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan is het beschermende effect van SUV's niet langer significant terwijl voertuigmassa en -vermogen dit wel zijn. Dit wil zeggen dat SUV's niet intrinsiek de inzittenden beter beschermen, maar dat de bovengemiddelde massa en vermogen van SUV's verklaren waarom de kans op ernstige verwondingen voor inzittenden daalt. De gemiddelde massa van SUV's in de dataset bedraagt 1469 kg, ongeveer 160 kg meer dan die van niet-SUV's. Ze hebben ook gemiddeld 16 kW meer vermogen.

Ook pick-up trucks beschermen hun inzittenden beter dan personenwagens. Het effect is opmerkelijk groter dan bij SUV's: inzittenden lopen 64,1% minder kans om een ernstige verwonding op te lopen dan inzittenden van een personenwagen. Voor dodelijke verwondingen bedraagt de risicovermindering 68,9% maar deze is omwille van een kleine steekproef niet significant, in tegenstelling tot de risicovermindering voor ernstige verwondingen. De cijfers in de literatuurstudie waren van de grootteorde 15 tot 25%. We nemen in onze analyse dus een groter effect waar.

Wanneer we in de analyse corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan is het beschermende effect van pick-ups niet langer significant terwijl voertuigmassa en -vermogen dit wel zijn. Net zoals voor SUV's wil dit zeggen dat pick-ups niet intrinsiek de inzittenden beter beschermen, maar dat de bovengemiddelde massa en vermogen van pick-ups verklaren waarom de kans op ernstige verwondingen voor inzittenden daalt. De gemiddelde massa van pick-ups in de dataset bedraagt 2120 kg, ongeveer 730 kg meer dan die van niet-pick-ups. Ze hebben ook gemiddeld 63 kW meer vermogen. Het waargenomen beschermende effect van pick-ups is groter dan dat van SUV's omwille van het veel grotere massa- en vermogensverschil.



### 4.2.1.2 Opponent-personenwagens

Uit de literatuurstudie blijkt dat SUV's "crashagressiever" zijn dan personenwagens, wat wil zeggen dat ze vaker ernstige verwondingen toebrengen aan de slachtoffers.

De analyse toont dat inzittenden van personenwagens die aangereden worden door een SUV 18% meer kans hebben om een ernstige verwonding op te lopen dan wanneer ze getroffen worden door een personenwagen. Voor dodelijke verwondingen nemen we een daling van 5,7% waar, maar dit is niet statistisch significant. De risicoverhoging op ernstige verwondingen is wel statistisch significant ( $p < 0,05$ ) en is in lijn met de wetenschappelijke literatuur, in de zin dat de grootteorde van het effect opnieuw vergelijkbaar is.

Wanneer we in de analyse corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan is het "agressieve" effect van SUV's niet langer significant terwijl voertuigmassa dit wel is. Bijgevolg kunnen we concluderen dat SUV's niet intrinsiek agressiever zijn ten opzichte van de tegenpartij, maar dat de bovengemiddelde massa van SUV's verklaart waarom de kans op ernstige verwondingen bij de tegenpartij stijgt.

Ook pick-up trucks zijn "agressiever" dan personenwagens. Uit onze analyse blijkt dat inzittenden van personenwagens die worden aangereden door een pick-up truck 49,7% meer kans hebben om een ernstige verwonding op te lopen ( $p < 0,05$ ) dan wanneer ze getroffen worden door een personenwagen. Voor dodelijke verwondingen nemen we een stijging van 5,9% waar, maar dit effect is niet statistisch significant omwille van een laag aantal ongevallen waarbij een pick-up betrokken is en er een dode te betreuren valt.

Wanneer we in de analyse corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan is het "agressieve" effect van pick-ups niet langer significant terwijl voertuigmassa dit wel is. Hieruit kunnen we besluiten dat pick-ups niet intrinsiek agressiever zijn ten opzichte van de tegenpartij, maar dat de bovengemiddelde massa van pick-ups verklaart waarom de kans op ernstige verwondingen bij de tegenpartij stijgt.

### 4.2.1.3 Kwetsbare weggebruikers

Tabel 18: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers bij een aanrijding met een SUV.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Andere wagen dan SUV (ref.)				
SUV XS	0,990	,863 NS	1,037	,833 NS
SUV S	1,070	,241 NS	1,217	,238 NS
SUV M	0,970	,766 NS	0,847	,623 NS
SUV L	1,402	,210 NS	1,774	,422 NS

Tabel 19: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers bij een aanrijding met een pick-up.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Andere wagen dan pick-up (ref.)				
Pick-up	1,910	<,001 ***	2,960	,001 **

Om de impact van SUV's op de kans op ernstige en dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers te analyseren, hebben we de brede categorie "SUV's" onderverdeeld in vier kleinere categorieën volgens grootte: SUV XS (lengte onder 4,3m), SUV S (van 4,3 tot 4,6m), SUV M (van 4,6 tot 4,9m) en SUV L (van 4,9 tot 5,3m). De analyse in Tabel 18 toont geen statistisch significante verhogingen/verlagingen van het risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een kwetsbare weggebruiker wordt aangereden door een SUV, ongeacht de grootte van de SUV. Toch zijn de odds-ratio's van de grootste categorie SUV's, de SUV L, een vermelding waard. Volgens Tabel 20 is het risico op ernstige verwondingen voor een kwetsbare weggebruiker met 40,2% verhoogd wanneer hij aangereden wordt door een grote SUV; het risico op dodelijke verwondingen zou zelfs met 77,4% verhoogd zijn. Deze resultaten zijn niet statistisch significant wegens de kleine steekproef (16 ernstig gewonde en 2 omgekomen kwetsbare weggebruikers in een ongeval met een SUV L). We kunnen dus niet met zekerheid stellen dat deze waarnemingen niet op toeval berusten.

Wanneer een kwetsbare weggebruiker wordt aangereden door een pick-up dan verdubbelt de kans op ernstige verwondingen en verdriedubbelt de kans op dodelijke verwondingen. Wanneer we in de analyse voor ernstige verwondingen corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan wordt de variabele massa significant en verkleint het effect van de variabele pick-up van +91% naar +65%. Dit betekent dat de bovengemiddelde massa van pick-ups mee verklaart waarom pick-ups de kans op ernstige verwondingen voor kwetsbare weggebruikers verhogen. Wanneer we in de analyse voor dodelijke verwondingen corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan is de variabele pick-up niet langer statistisch significant terwijl massa en motorkaphoogte dit wel zijn. Dit betekent dat de bovengemiddelde massa en de bovengemiddelde motorkaphoogte van pick-ups verklaren waarom pick-ups de kans op overlijden bij kwetsbare weggebruikers verhogen. De massa van pick-ups bedraagt gemiddeld 2127kg tegenover 1356kg voor alle personenwagens en bestelwagens; de motorkaphoogte van pick-ups bedraagt gemiddeld 106cm tegenover 82cm voor alle personenwagens en bestelwagens. De vergelijking van onze resultaten met de literatuurstudie wordt bemoeilijkt door het feit dat in de meeste andere studies SUV's en pick-ups als één groep worden beschouwd terwijl deze twee voertuigcategorieën in onze studie apart worden behandeld.

## 4.2.2 Elektrische wagens

Tabel 20: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer een elektrische wagen betrokken is in een letselongeval.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van elektrische wagens	/ <sup>20</sup>	/	/	/
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door elektrische wagens	0,798	,698 NS	2,356	,394 NS
Voor kwetsbare weggebruikers aangereden door elektrische wagens	0,909	,692 NS	/	/

### 4.2.2.1 Eigen personenwagens

Er zijn in de periode 2017-2021 slechts 168 tweezijdige auto-ongevallen geregistreerd waarbij de aangereden partij met een elektrische wagen reed. Bij deze 168 ongevallen vielen er geen ernstig gewonden of doden bij de inzittenden van de elektrische wagens. Vandaar kunnen we geen zinvolle conclusies trekken over de kans op ernstige of dodelijke verwondingen voor inzittenden van elektrische wagens.

### 4.2.2.2 Opponent-personenwagens

Uit onze analyse blijkt dat inzittenden van personenwagens die aangereden worden door een elektrische wagen 21,2% minder kans hebben om een ernstige verwonding op te lopen dan wanneer ze door een conventionele personenwagen getroffen worden. Diezelfde persoon heeft wel meer dan 2 keer zoveel kans om te overlijden. Hier moet echter voorzichtig mee worden omgesprongen want deze effecten zijn niet statistisch significant omwille van een kleine steekproef van ongevallen met elektrische voertuigen. Er zijn in de periode 2017-2021 slechts 154 tweezijdige auto-ongevallen geregistreerd waarbij de opponent met een elektrische wagen reed. Bij deze 154 ongevallen viel er 1 dode (0,5%) bij de partij die werd aangereden. Ter vergelijking: bij 96309 tweezijdige auto-ongevallen met conventionele wagens vielen er 205 doden (0,2%) bij de partij die werd aangereden.

Men kan een "agressief" effect van elektrische wagens vermoeden omwille van hun bovengemiddelde voertuigmassa en -vermogen. Dit effect is in de huidige data niet zichtbaar. Wel staat vast dat het kleine aantal elektrische wagens in onze dataset een gemiddelde massa hebben van 1940 kg, ongeveer 550 kg hoger dan die van niet-elektrische wagens en een gemiddeld vermogen hebben van 182 kW, 100 kW boven dat van niet-elektrische wagens.

<sup>20</sup> Geen gegevens wegens te kleine steekproef.

Onze steekproef is voorlopig te klein om conclusies te kunnen trekken. Naarmate er meer elektrische wagens rondrijden en het aantal ongevallen waarbij ze betrokken zijn toeneemt, zal duidelijk worden of de letselernst bij ongevallen met elektrische wagens significant verschilt van de letselernst bij ongevallen met conventionele wagens. De enige studie die hierover te vinden is en gebaseerd is in Noorwegen kan geen significante verschillen aantonen (Liu et al., 2022).

### 4.2.2.3 Kwetsbare weggebruikers

In de literatuurstudie vonden wij geen bronnen die iets vertellen over de letselernst van kwetsbare weggebruikers wanneer zij worden aangereden door een elektrische personenwagen. Gezien de hogere massa van elektrische wagens in letselongevallen (1834kg ten opzichte van 1397kg voor niet-elektrische personenwagens) en hun bijna ontbrekende motorgeluid, zou verwacht kunnen worden dat elektrische personenwagens de kans op ernstige en dodelijke letsels bij kwetsbare weggebruikers verhogen, maar dit wordt niet gevonden in onze analyse.

Wegens het kleine aantal letselongevallen met elektrische wagens en kwetsbare weggebruikers is het te vroeg om conclusies te trekken over de kans op dodelijke verwondingen en bij uitbreiding op ernstige verwondingen. Net zoals voor de evaluatie van tweezijdige auto-ongevallen kunnen pas definitieve conclusies getrokken worden over ongevallen tussen elektrische wagens en kwetsbare weggebruikers naarmate er meer elektrische wagens op onze wegen rijden.

## 4.2.3 Voertuigleeftijd

Tabel 21: Risico op ernstige en dodelijke verwondingen bij een toename in de voertuigleeftijd.

	Ernstige verwondingen		Dodelijke verwondingen	
	Odds-ratio	Significantie	Odds-ratio	Significantie
Voor inzittenden van personenwagens van de aangegeven leeftijd				
0-3 jaar (ref.)				
4-11 jaar	1,252	,018 *	0,953	,860 NS
12+	1,602	< ,001 ***	1,763	,088 .
Voor inzittenden van personenwagens aangereden door een personenwagen van de aangegeven leeftijd				
0-3 jaar (ref.)				
4-11 jaar	1,059	,518 NS	1,029	,909 NS
12+	0,834	,192 NS	0,581	,229 NS
Voor kwetsbare weggebruikers aangereden door wagens				
0-3 jaar (ref.)				
4-11 jaar	1,082	,153 NS	1,448	,034 *
12+	1,170	,049 *	1,306	,293 NS

### 4.2.3.1 Eigen personenwagen

Inzittenden van oudere personenwagens lopen een hoger risico op ernstige verwondingen dan inzittenden van jongere personenwagens. Zo stijgt de kans op ernstige verwondingen met 25,2% en 60,2% wanneer men in een voertuig van respectievelijk 4 tot 11 jaar oud of ouder dan 12 jaar aangereden wordt. Uit de correlatie tussen voertuigleeftijd en voertuigmassa weten we dat de oudere voertuigen lichter zijn. Bovendien werd er een beschermend effect van massa in 4.1.2 vastgesteld. Omgekeerd beschermen lichtere voertuigen hun inzittenden minder goed. Dit verklaart waarom inzittenden van oudere voertuigen een hoger risico lopen. Een bijkomende verklaring is te vinden in het feit dat oudere voertuigen minder goed uitgerust zijn met passieve veiligheidssystemen, zoals kreukelzones, airbags en 'pre-tensioned' veiligheidsgordels.

Wanneer we corrigeren voor voertuigmassa en -vermogen blijft het effect van voertuigleeftijd op de kans op ernstige verwondingen significant. De effectgroottes dalen wel: de kans op ernstige verwondingen voor de inzittenden van een voertuig van 4 tot 11 jaar is met 21% verhoogd (t.o.v. 25% voordien) en voor de inzittenden van een voertuig ouder dan 12 jaar met 39% (t.o.v. 60% voordien). Dit wil zeggen dat massa en vermogen de risicoverhogingen gedeeltelijk verklaren. Personenwagens ouder dan 12 jaar hebben een gemiddelde massa van 1285 kg, ongeveer 65 kg minder dan voertuigen jonger dan 3 jaar. Ook hebben ze een gemiddeld vermogen van 65 kW, 16 kW minder dan de jonge voertuigen. De vaststelling dat het effect van voertuigleeftijd significant blijft, suggereert dat er nog een andere verklaring moet zijn voor de risicoverhoging voor de inzittenden van oudere voertuigen ten opzichte van nieuwere voertuigen. Moderne wagens hebben meer veiligheidssystemen en zijn crashbestendiger dan oudere voertuigen.

#### 4.2.3.2 Opponent-personenwagen

De kans op ernstige en dodelijke verwondingen in functie van de voertuigleeftijd van de opponent is niet significant verhoogd of verlaagd. Hoewel het effect niet statistisch significant is, suggereert de analyse wel een dalende trend in de kans op ernstige en dodelijke verwondingen wanneer het voertuig van de opponent ouder is dan 12 jaar. Uit de correlatie tussen voertuigleeftijd en voertuigmassa weten we dat oudere voertuigen lichter zijn. Lichtere voertuigen brengen minder snel ernstige verwondingen toe aan de tegenpartij, wat deze gesuggereerde risicodalingen verklaart.

#### 4.2.3.3 Kwetsbare weggebruikers

Naarmate de ouderdom van een personenwagen stijgt, neemt de kans op een hoge letselernst bij de aangereden kwetsbare weggebruiker toe. Vergelijken we drie categorieën van voertuigleeftijd met elkaar dan zien we een statistisch significant verhoogd risico op ernstige verwondingen in de categorie ">12 jaar" ten opzichte van de categorie "0-3 jaar" (odds-ratio = +17%). En voor dodelijke verwondingen zien we een statistisch significant verhoogd risico in de categorie "4-11 jaar" ten opzichte van de categorie "0-3 jaar" (odds-ratio = +45%).

Oude personenwagens verhogen dus de kans op een hoge letselernst ondanks het feit dat zij gemiddeld een lagere massa en lagere motorkaphoogte hebben. In hoofdstuk 4.1 zagen we dat een lage massa en lage motorkaphoogte de kans op een hoge letselernst verlagen. De massa van oude wagens (>12 jaar) bedraagt gemiddeld 1291 kg tegenover 1346 kg bij jonge wagens (0-3 jaar); de motorkaphoogte van oude wagens (>12 jaar) bedraagt gemiddeld 79 cm tegenover 82 cm bij jonge wagens (0-3 jaar).

Wanneer we in de analyse over ernstige verwondingen corrigeren voor de variabelen met een directe invloed, dan blijft de variabele voertuigleeftijd statistisch significant maar wordt ook de variabele massa statistisch significant. Er verandert echter niets aan de effectgrootte van voertuigleeftijd: het risico op ernstige verwondingen blijft met 17% ( $p < ,05$ ) verhoogd in de categorie ">12 jaar" ten opzichte van de categorie "0-3 jaar". Ook wat betreft dodelijke verwondingen verandert er weinig in een multivariaat model waarbij gecorrigeerd wordt voor de variabelen met een directe invloed: naast voertuigleeftijd worden de variabelen massa en motorkaphoogte significant, en het verhoogde risico op dodelijke verwondingen in de categorie "4-11 jaar" ten opzichte van de categorie "0-3 jaar" neemt af van 45% naar 37% ( $p < ,05$ ). In ieder geval kunnen we hieruit besluiten dat massa en motorkaphoogte niet echt verklaringen vormen voor de waargenomen effecten van voertuigleeftijd op letselernst bij kwetsbare weggebruikers. Een mogelijke verklaring is dat oude wagens minder uitgerust zijn met actieve en passieve veiligheidssystemen en daarom minder veilig zijn voor kwetsbare weggebruikers maar het is niet mogelijk om dit op basis van de huidige dataset na te gaan wegens een te klein aantal slachtoffers bij kwetsbare weggebruikers waarvoor de "Euro NCAP-score" die specifiek de veiligheid meet voor kwetsbare weggebruikers gekend is.

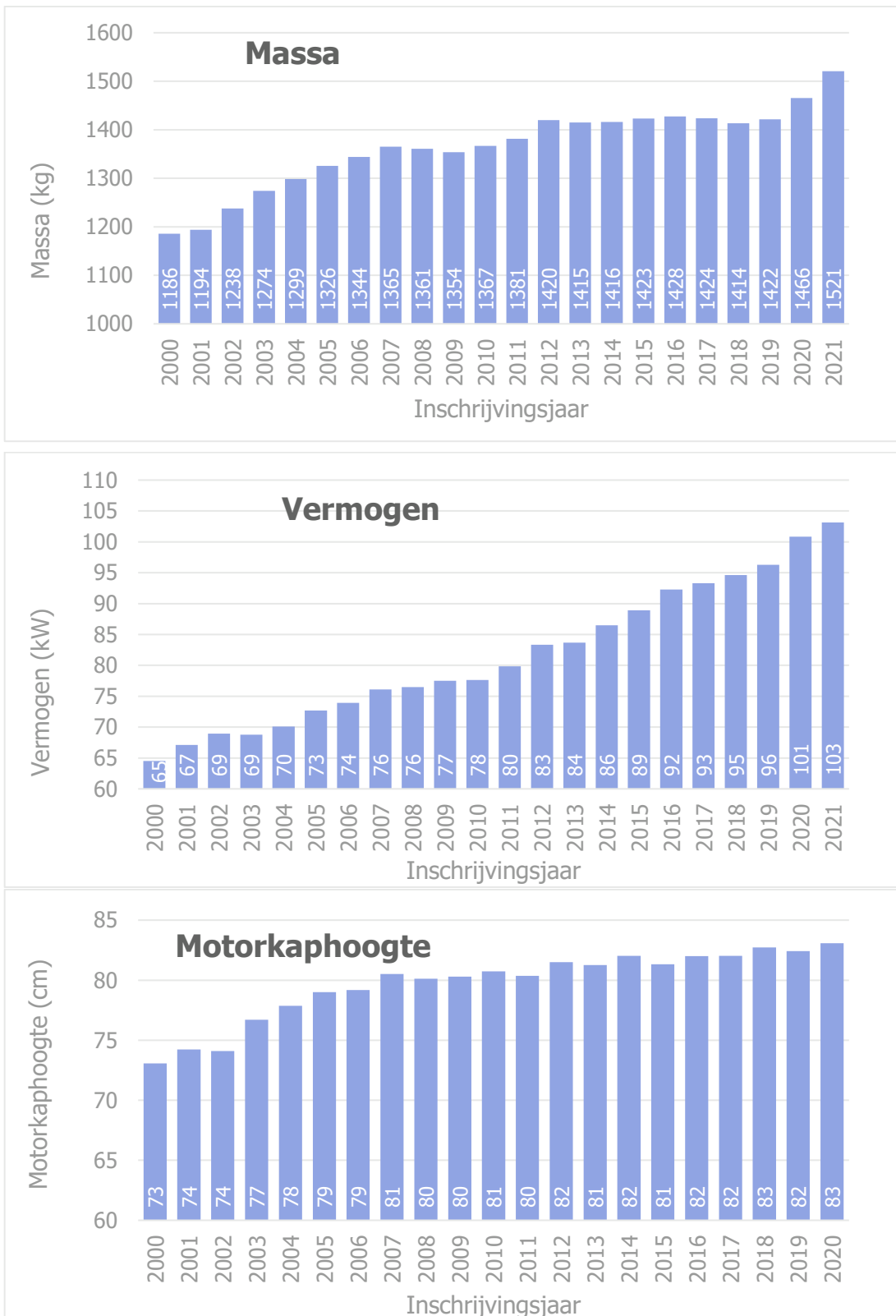
### 4.3 Evolutie van voertuigkenmerken

In de gekoppelde dataset is er ook een variabele over het inschrijvingsjaar aanwezig. Deze variabele geeft het jaar weer dat een voertuig voor de eerste maal is ingeschreven bij de Belgische administratie, meer bepaald bij de Dienst Inschrijving Voertuigen (DIV) van de Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer. Voor de meeste wagens is het inschrijvingsjaar ongeveer gelijk aan hun bouwjaar. Het inschrijvingsjaar geeft aldus een indicatie van de ouderdom van het voertuig. Voor een klein aandeel van de wagens is dit niet het geval, nl. voor wagens die eerst ingeschreven en gebruikt zijn in het buitenland en daarna zijn geïmporteerd en ingeschreven in België.

De variabele "inschrijvingsjaar" laat toe om de evolutie van voertuigkenmerken van personenwagens betrokken in letselongevallen na te gaan. Hoe verhouden de voertuigkenmerken van jonge voertuigen (betrokken in letselongevallen) zich tot oudere voertuigen (betrokken in letselongevallen)? Dit wordt nagegaan en gevisualiseerd aan de hand van de figuren in dit hoofdstuk.

Figuur 1 toont de evolutie van de gemiddelde massa, vermogen en motorkaphoogte. Over een periode van 20 jaar, sinds 2000, is de gemiddelde massa van personenwagens toegenomen met 28%, het gemiddelde vermogen met 60%, en de gemiddelde motorkaphoogte met 14%. In hoofdstuk 4.1 zagen we dat een hoge massa en vermogen de "crashbestendigheid", ofwel de capaciteit van een voertuig om zijn inzittenden te beschermen, verhogen. Tegelijkertijd neemt ook de "crash-agressiviteit" - de impact op de letselernst van de opponent – toe naarmate de massa en het vermogen toenemen. Tevens zagen we in hoofdstuk 4.1 dat een toenemende motorkaphoogte de kans op dodelijke verwondingen bij kwetsbare weggebruikers verhoogt. De evolutie van de voertuigkenmerken massa, vermogen en motorkaphoogte lijkt dus eerder voordelig voor de auto-inzittenden en nadelig voor de opponenten.

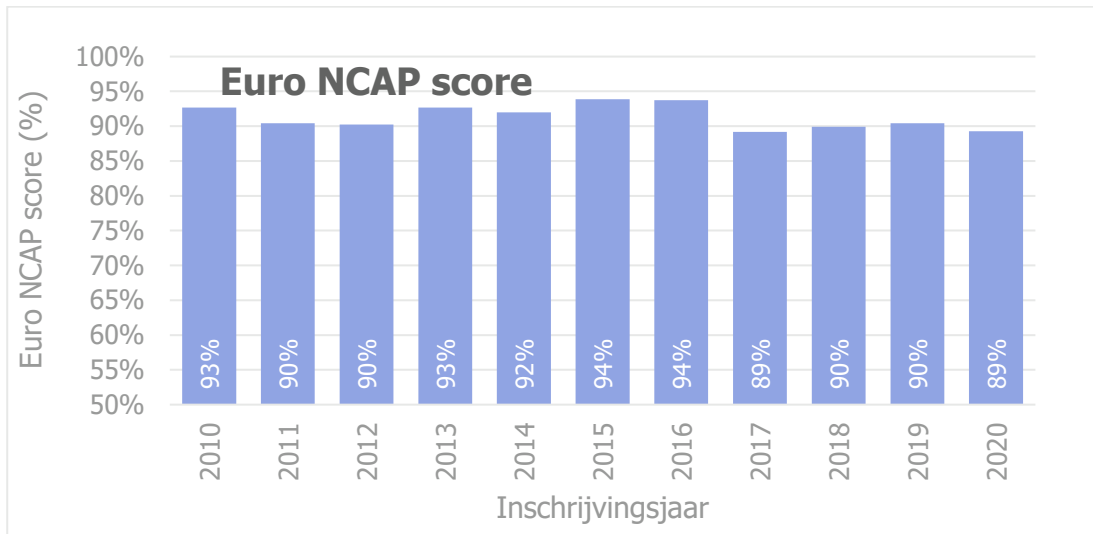
Figuur 1: Gemiddelde massa, vermogen en motorkaphoogte van personenwagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.



Figuur 2 toont de evolutie van het aandeel wagens met een Euro NCAP-veiligheidsscore van minstens 4. Dit aandeel schommelt tussen 94% en 89% en lijkt de laatste vier jaren wat lager te liggen dan ervoor. Dit wil niet zeggen dat jonge wagens minder crashbestendig zijn of een minder goede veiligheidsuitrusting hebben. De Euro NCAP organisatie schaaft immers zijn beoordelingssysteem jaar na jaar bij omdat technologie blijft

evolueren en nieuwe innovaties beschikbaar worden. De betekenis van een Euro NCAP-score 5 of 4 evolueert dus doorheen de jaren.

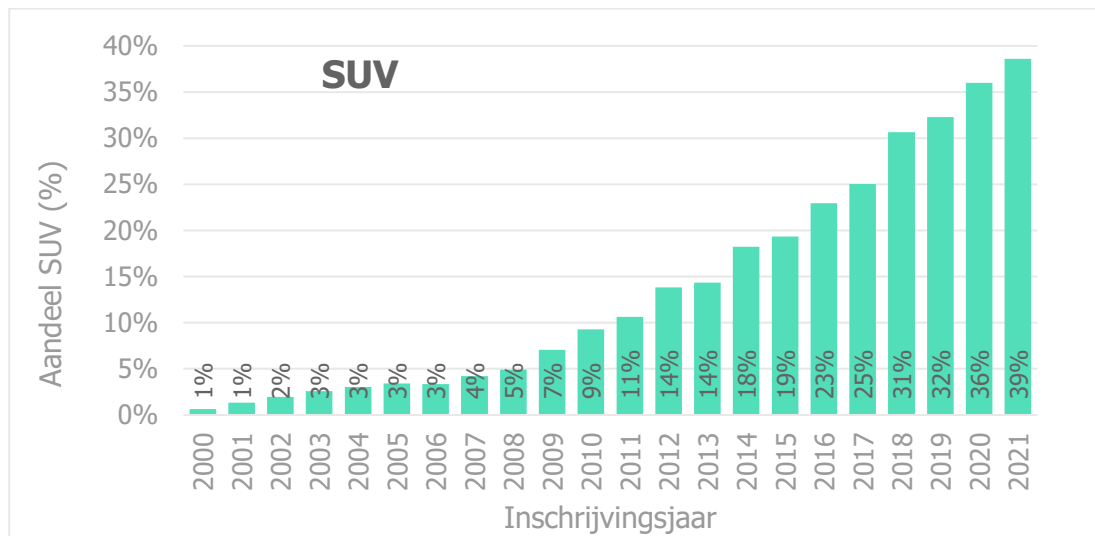
Figuur 2: Aandeel personenwagens in letselongevallen met een Euro NCAP-score van minstens 4 volgens inschrijvingsjaar.



Vier op tien wagens die voor het eerst werden ingeschreven in de Belgische administratie zijn een SUV (Figuur 3). In 2000 was dat nog maar 1 op de honderd. Het groeiende aandeel van SUV's verklaart ook gedeeltelijk de jaarlijkse toename van de massa, het vermogen en de motorkaphoogte van wagens (Figuur 1). De analyses in hoofdstuk 4.2, al dan niet statistisch significant, lijken te wijzen op een hogere crashbestendigheid en crash-agressiviteit van SUV's in vergelijking met non-SUV's. De evolutie van het aandeel SUV's in het wagenpark lijkt dus eerder voordelig voor de auto-inzittenden en nadelig voor de opposenten.

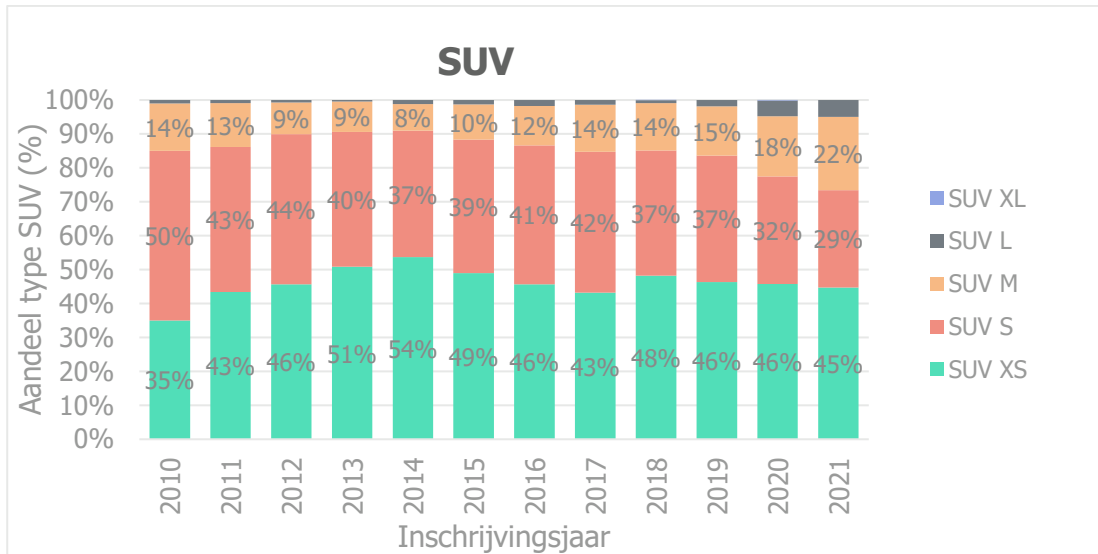
Figuur 4 toont bovendien aan dat binnen de groep SUV's het aandeel middelgrote tot heel grote SUV's sinds ongeveer 2013 aan het toenemen is en het aandeel SUV's van het kleinere type dus aan het afnemen is.

Figuur 3: Aandeel SUV's in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.



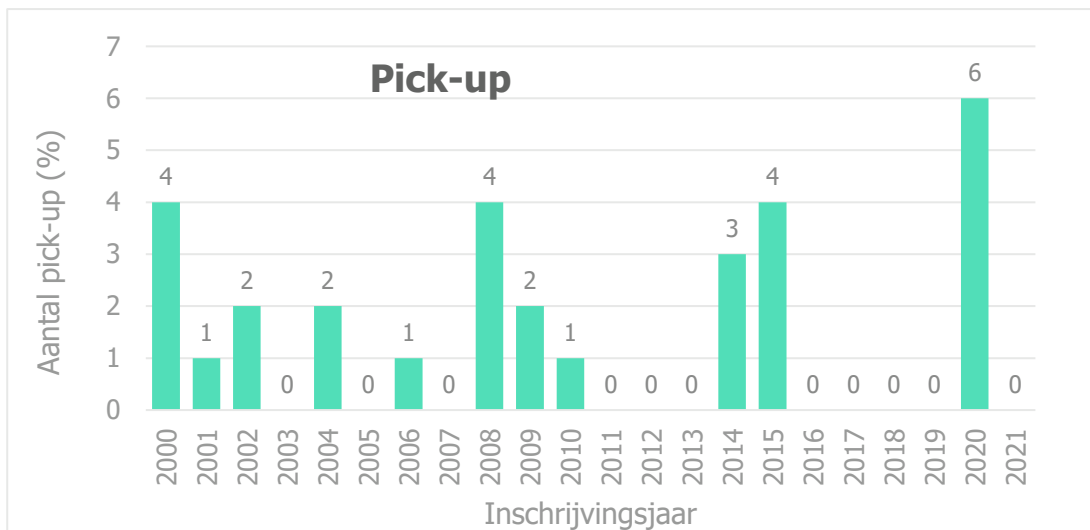


Figuur 4: Aandeel SUV's volgens grootte in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.



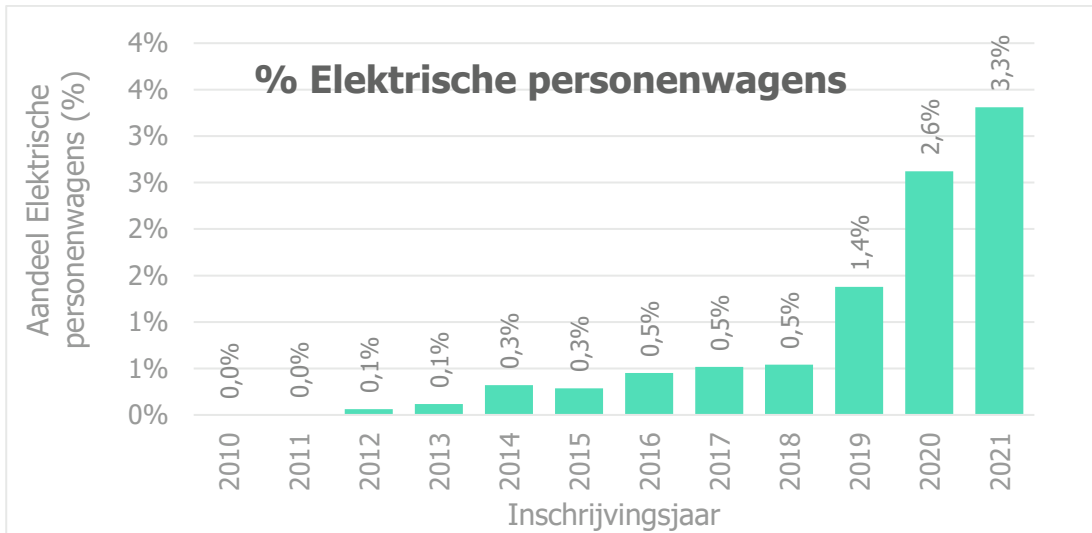
Het aantal pick-ups in letselongevallen is zeer klein (Figuur 5). Sommige jaren was er geen enkele pick-up betrokken in een letselongeval. Op basis van de onderstaande figuur is het dus niet mogelijk uitspraken te doen over de evolutie van pick-ups in letselongevallen, en meer algemeen, in het wagenpark.

Figuur 5: Aantal pick-ups in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.



Naarmate het wagenpark verjongt, neemt het aandeel elektrische wagens toe. Drie procent van de wagens ingeschreven in 2021 zijn elektrisch (Figuur 6). Vermoedelijk zal deze groeiende trend zich blijven doorzetten in de toekomst. In hoofdstuk 4.2.2 bleek dat het aandeel elektrische voertuigen in letselongevallen nog te klein is om conclusies te trekken over hun relatie met letselernst. We kunnen daardoor ook geen uitspraken doen over de impact van de groei van elektrische wagens op de veiligheid van hun inzittenden en hun opponenten. Als hypothese kunnen we opwerpen dat de hogere massa van elektrische wagens deze voertuigen een hogere crashbestendigheid en crash-agressiviteit bezorgt dan niet-elektrische wagens, maar dat de hogere crash-agressiviteit voor een deel gecompenseerd wordt door recentere en betere veiligheidssystemen in vergelijking met andere personenwagens.

Figuur 6: Aandeel elektrische wagens in letselongevallen volgens inschrijvingsjaar.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

De onderzoeksvragen van deze studie luiden als volgt:

- Welke voertuigkenmerken van een personenwagen bepalen de letselernst van auto-inzittenden (in letselongevallen met andere personenwagens)?
- Welke voertuigkenmerken van een personenwagen beïnvloeden de letselernst van de inzittenden van de personenwagens bij de tegenpartij en bij kwetsbare weggebruikers?

Deze vragen worden in deze studie beantwoord via een literatuurstudie en een statistische analyse van Belgische ongevallendata.

De literatuurstudie leert ons dat een aantal voertuigkenmerken een effect hebben op de letselernst van zowel de inzittenden als de opponenten. De gevonden effectgroottes variëren van studie tot studie. Ten eerste heeft voertuigmassa zowel een beschermend als "agressief" effect: inzittenden van voertuigen met een hogere voertuigmassa hebben minder kans om ernstig of dodelijk gewond te raken, terwijl opponenten getroffen door een voertuig met een hogere voertuigmassa net meer kans hebben om ernstig of dodelijk gewond te raken. Wanneer de opponent een kwetsbare weggebruiker is, vinden sommige studies een stijging van de kans op dodelijke verwondingen naarmate de voertuigmassa stijgt, terwijl andere studies geen effect vinden. Gelijkaardige trends worden vastgesteld voor pick-up trucks en SUV's: inzittenden van pick-up trucks en SUV's hebben minder kans op ernstige en dodelijke verwondingen dan inzittenden van personenwagens, terwijl opponenten getroffen door een pick-up truck of SUV net meer kans hebben op ernstige of dodelijke verwondingen dan opponenten getroffen door een personenwagen. Opnieuw stellen sommige studies vast dat kwetsbare weggebruikers getroffen door een pick-up truck of SUV meer kans hebben op ernstige of dodelijke verwondingen dan kwetsbare weggebruikers getroffen door een personenwagen, terwijl andere studies geen effect vinden. Er is verder nog maar weinig onderzoek gedaan naar de letselernst bij ongevallen met elektrische wagens. De enige hierover gevonden studie vindt geen verschillen op vlak van letselernst bij ongevallen met elektrische wagens enerzijds en ongevallen met wagens met een verbrandingsmotor anderzijds.

Uit de literatuurstudie blijkt dat de kans op ernstige verwondingen bij opponenten stijgt naarmate de motorkaphoogte van het voertuig dat hen treft stijgt. Voor kwetsbare weggebruikers is zowel de kans op ernstige als dodelijke verwondingen verhoogd. Daarnaast is de kans op ernstige en dodelijke verwondingen verhoogd voor alle betrokkenen naarmate de voertuigleeftijd stijgt.

Ten slotte weerspiegelen ook de Euro NCAP-veiligheidsscores zich in de praktijk: auto-inzittenden hebben minder kans op ernstige en dodelijke verwondingen naarmate de Euro NCAP-veiligheidsscore stijgt. Ook kwetsbare weggebruikers hebben minder kans op ernstige en dodelijke verwondingen naarmate de Euro NCAP-voetgangersscore stijgt.

De statistische analyse toont aan dat de volgende voertuigkenmerken de letselernst van auto-inzittenden beperken: hoge massa, hoog vermogen, SUV (versus geen SUV) en pick-up (versus geen pick-up). Tegelijkertijd vergroten deze vier genoemde voertuigkenmerken de letselernst bij de *tegenpartij* (in het geval van vermogen en SUV's enkel bij auto-opponenten), samen met een hoge motorkaphoogte (enkel verhoging bij kwetsbare weggebruikers) en een hoge algemene Euro NCAP-score (enkel verhoging bij auto-opponenten). Een hoge voertuigleeftijd ten slotte vergroot zowel de letselernst bij auto-inzittenden als bij aangereden kwetsbare weggebruikers. Enkel wat betreft het voertuigkenmerk "elektrisch voertuig (versus geen elektrisch voertuig)" kon de statistische analyse geen enkel verband aantonen met letselernst. Dit geldt evenmin voor de literatuurstudie.

Afgezien van voertuigleeftijd, lijken voertuigkenmerken die de letselernst van auto-inzittenden beperken (bv. massa) de letselernst bij de tegenpartij, of dat nu andere auto-inzittenden of kwetsbare weggebruikers zijn, te vergroten. Met andere woorden: voertuigkenmerken die de crashbestendigheid (i.e. de capaciteit van een wagen om zijn inzittenden te beschermen bij aanrijdingen) van een wagen vergroten, lijken tegelijkertijd ook de crash-agressiviteit (i.e. het onvermogen om de opponent te beschermen bij aanrijdingen) van de wagen te vergroten.

Bovendien stellen we in dit rapport vast dat de opgenoemde voertuigkenmerken steeds verder in het voordeel zijn geëvolueerd van de inzittenden en steeds meer in het nadeel van opponenten. Immers, de gemiddelde massa, vermogen en motorkaphoogte van personenwagens zijn de afgelopen 20 jaar enkel toegenomen. Binnen het segment SUV's is het aandeel middelgrote tot grote SUV's enkel gegroeid.

In het licht van de bestudeerde aanrijdingen in dit rapport, nl. tweezijdige auto-ongevallen en ongevallen tussen auto's en kwetsbare weggebruikers, zijn de beschreven waarnemingen en trends vooral nadelig voor volgende weggebruikersgroepen:

- Kwetsbare weggebruikers: terwijl personenwagens steeds robuuster zijn geworden, zijn kwetsbare weggebruikers, in het bijzonder voetgangers en fietsers, even kwetsbaar gebleven als twintig jaar geleden.
- Inzittenden van personenwagens die minder robuust zijn (bv. lagere massa, lager vermogen) dan andere personenwagens.

Op basis van die vaststellingen, kan aanbevolen worden dat maatregelen vooral moeten inzetten op een afname van de heterogeniteit tussen personenwagens en op de bescherming van kwetsbare weggebruikers bij botsingen met personenwagens.

Een mogelijke maatregel is de introductie van een nieuwe Euro NCAP-indicator die de veiligheid van een getest voertuig voor de auto-opponent beoordeelt. Immers, de Euro NCAP organisatie heeft een reeks indicatoren ontwikkeld die de veiligheid voor de inzittenden beoordelen zoals de algemene Euro NCAP-score, de "adult occupant score" en de "child occupant score". Daarnaast ontwikkelde deze organisatie ook een indicator die de veiligheid voor aangereden kwetsbare weggebruikers beoordeelt.<sup>21</sup> Een Euro NCAP-indicator aangaande de veiligheid voor de auto-opponent zou het Euro NCAP-beoordelingssysteem verder kunnen vervolledigen.

In oude voertuigen ( $\geq 12$  jaar) hebben auto-inzittenden 60% meer kans op ernstige verwondingen dan in jonge voertuigen (0-3 jaar). Ook kwetsbare weggebruikers hebben meer kans op ernstige verwondingen wanneer zij worden aangereden door een oude personenwagen in vergelijking met een jonge wagen maar dit percentage is kleiner, nl. 17%. Dat jonge personenwagens ondanks hun gemiddeld hogere massa en motorkaphoogte toch veiliger zijn voor kwetsbare weggebruikers dan oude wagens heeft vermoedelijk te maken met een verbetering van het voertuigontwerp en de voertuiguitrusting. Belangrijk is dat ook in de toekomst verbeteringen blijven plaatsvinden en er op Europees niveau gepleit wordt voor strengere voertuigeisen, betere rijkhulpsystemen ter bescherming van kwetsbare weggebruikers en een beperking op de maximale massa van personenwagens.

Een andere mogelijke maatregel is om bij de berekening van de jaarlijkse wegenbelasting rekening te houden met voertuigkenmerken die de kans op een hoge letselernst bij de opponenten verhogen. In een aantal landen zoals bijvoorbeeld Nederland, Letland of Japan wordt rekening gehouden met de massa van voertuigen bij de bepaling van de jaarlijkse wegenbelastingen, soms in combinatie met een maat voor de motorinhoud. In België worden de jaarlijkse verkeersbelastingen geheven door de gewesten en houden zij momenteel rekening met het (fiscale) vermogen en enkele milieukeurmerken. Omdat het (fiscale) vermogen en de massa van personenwagens een sterke samenhang vertonen, wil dit zeggen dat de gewesten indirect al gedeeltelijk op basis van massa belastingen heffen.

---

<sup>21</sup> Deze score die gericht is naar voetganger en fietsers werd pas ingevoerd in 2018. Wegens de kleine steekproef konden we geen significant effect vinden van de "VRU score" op de kans op ernstige of dodelijke letsels voor kwetsbare weggebruikers.

## Referenties

- Arefkhani, H., Besharati, M. mehdi, Azizi Bondarabadi, M., & Tavakoli Kashani, A. (2019). How does the incompatibility of different vehicle types affect the odds of driver injury? *Journal of Transportation Safety and Security*, 13(8), 860–876. <https://doi.org/10.1080/19439962.2019.1691101>
- Ballesteros, M. F., Dischinger, P. C., & Langenberg, P. (2004). Pedestrian injuries and vehicle type in Maryland, 1995-1999. *Accident Analysis and Prevention*, 36(1), 73–81. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00129-X)
- Batouli, G., Guo, M., Janson, B., & Marshall, W. (2020). Analysis of pedestrian-vehicle crash injury severity factors in Colorado 2006–2016. *Accident Analysis and Prevention*, 148. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105782>
- Buzeman-Jewkes, D. (1998). *Car Compatibility in Frontal Crashes: New Methods to Determine the Influence of Mass, Structure, Stiffness, and Geometry, and their Interactions on Injuries*.
- Dons, E., Wrzesinska, D., Ben Messaoud, Y., & Deleuze, J.-J. (2023). *The transition to electric vehicles in the private fleet (GREENPARK) – Identification of the technical, societal and taxation framework for an efficient transition to greener fleets*.
- Edwards, M., & Leonard, D. (2022). Effects of large vehicles on pedestrian and pedalcyclist injury severity. *Journal of Safety Research*, 82, 275–282. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2022.06.005>
- Elvik, R., & Skaansar, E. (1989). *Utviklingen av bilenes fartsressurser etter ca 1960*.
- Evans, Leonard (2004). *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society.
- Evans, L. (1985). Car size and safety: Results from analysing U.S. accident data. *Proceedings of the Tenth International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles*, 548–556.
- Evans, L., & Frick, M. C. (1993). Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 25(2), 213–224. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(93\)90062-2](https://doi.org/10.1016/0001-4575(93)90062-2)
- Fredette, M., Mambu, L. S., Chouinard, A., & Bellavance, F. (2008). Safety impacts due to the incompatibility of SUVs, minivans, and pickup trucks in two-vehicle collisions. *Accident Analysis and Prevention*, 40(6), 1987–1995. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.08.026>
- Gunasekaran, T. K. K. (2021). *Significance of the vehicle front design and gait postures on traumatic brain injuries sustained by different pedestrian populations during car-to-pedestrian collisions (CPCs) - A computational approach* [The University of Western Ontario]. <https://ir.lib.uwo.ca/etdhttps://ir.lib.uwo.ca/etd/8218>
- Høye, A. K. (2017). *Road safety effects of vehicles crashworthiness, weight, and compatibility - Transportøkonomisk institutt*. <https://www.toi.no/publications/road-safety-effects-of-vehicles-crashworthiness-weight-and-compatibility-article34633-29.html>
- Khattak, A. J. (2001). Injury Severity in Multivehicle Rear-End Crashes. *Transportation Research Record*, 1746, 59–68. <https://doi.org/10.3141/1746-08>
- Kim, J. K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., & Kim, S. (2008). Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 40(5), 1695–1702. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.06.005>
- Kockelman, K. M., & Kweon, Y. J. (2002). Driver injury severity: An application of ordered probit models. *Accident Analysis and Prevention*, 34(3), 313–321. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00028-8)
- Krahé, B., & Fenske, I. (2002). Predicting Aggressive Driving Behavior: The Role of Macho Personality, Age, and Power of Car. *Aggressive Behavior*, 28(1), 21–29. <https://doi.org/10.1002/ab.90003>
- Kullgren, A., Axelsson, A., Stigson, H., & Ydenius, A. (2019). *DEVELOPMENTS IN CAR CRASH SAFETY AND COMPARISONS BETWEEN RESULTS FROM EURO NCAP TESTS AND REAL-WORLD CRASHES*. <http://www.euroncap.com>.

- Kullgren, A., Lie, A., & Tingvall, C. (2010). Comparison Between Euro NCAP Test Results and Real-World Crash Data. *https://doi.org/10.1080/15389588.2010.508804*, 11(6), 587–593. <https://doi.org/10.1080/15389588.2010.508804>
- Langwieder, K., Fildes, B., Ernvall, T., & Cameron, M. (2003). *SARAC-SAFETY RATING BASED ON REAL-WORLD CRASHES FOR SUPPLEMENTATION OF NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMS*.
- Les, M., Morris, A., & Olsson, T. (2001). Vehicle properties determining aggressivity. *Road Safety Researcher's Conference. 2001: Road Safety Research, Policing and Education*.
- Li, G., Lyons, M., Wang, B., Yang, J., Otte, D., & Simms, C. (2017). The influence of passenger car front shape on pedestrian injury risk observed from German in-depth accident data. *Accident; Analysis and Prevention*, 101, 11–21. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2017.01.012>
- Lie, A., & Tingvall, C. (2002). How do Euro NCAP results correlate with real-life injury risks? A paired comparison study of car-to-car crashes. *Traffic Injury Prevention*, 3(4), 288–293. <https://doi.org/10.1080/15389580214632>
- Liu, C., Zhao, L., & Lu, C. (2022). Exploration of the characteristics and trends of electric vehicle crashes: a case study in Norway. *European Transport Research Review*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S12544-022-00529-2/TABLES/9>
- McCartt, A. T., & Hu, W. (2017). Effects of vehicle power on passenger vehicle speeds. *Traffic Injury Prevention*, 18(5), 500–507. <https://doi.org/10.1080/15389588.2016.1241994>
- Mizuno, K., & Kajzer, J. (1999). Compatibility problems in frontal, side, single car collisions and car-to-pedestrian accidents in Japan. *Accident; Analysis and Prevention*, 31(4), 381–391. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00076-1)
- Newstead, S., Delaney, A., Watson, L., Cameron, M., & Langwieder, K. (2015). *INJURY RISK ASSESSMENT FROM REAL WORLD INJURY OUTCOMES IN EUROPEAN CRASHES AND THEIR RELATIONSHIP TO EURONCAP TEST SCORES*.
- Padmanaban, J. (2003). Influences of Vehicle Size and Mass and Selected Driver Factors on Odds of Driver Fatality. *Annual Proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 47, 507. <https://pmc/articles/PMC3217563/>
- Pastor, C. (2013). Correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and Euro NCAP pedestrian test results. *23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*.
- Pour-Rouholamin, M., & Zhou, H. (2016). Investigating the risk factors associated with pedestrian injury severity in Illinois. *Journal of Safety Research*, 57, 9–17. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2016.03.004>
- Roudsari, B. S., Mock, C. N., Kaufman, R., Grossman, D., & Roudsari, B. S. (2004). Pedestrian crashes: higher injury severity and mortality rate for light truck vehicles compared with passenger vehicles. *Injury Prevention*, 10, 154–158. <https://doi.org/10.1136/ip.2003.003814>
- Saadé, J., Cuny, S., Labrousse, M., Song, E., Chauvel, C., & Chrétien, P. (2020). Pedestrian injuries and vehicles-related risk factors in car-to-pedestrian frontal collisions. *Ircobi*, 278–289.
- Seyer, K., Newland, C., Terrell, M., & Dalmotas, D. (2000). The effect of mass, stiffness and geometry on injury outcome in side impacts - a parametric study. *Stapp Car Crash Journal*, 44(November). <https://doi.org/10.4271/2000-01-SC01>
- Shang, S., Otte, D., Li, G., & Simms, C. (2018). Detailed assessment of pedestrian ground contact injuries observed from in-depth accident data. *Accident Analysis & Prevention*, 110, 9–17. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2017.10.011>
- Siegel, J. H., Loo, G., Dischinger, P. C., Burgess, A. R., Wang, S. C., Schneider, L. W., Grossman, D., Rivara, F., Mock, C., Natarajan, G. A., Hutchins, K. D., Bents, F. D., McCammon, L., Leibovich, E., & Tenenbaum, N. (2001). Factors influencing the patterns of injuries and outcomes in car versus car crashes compared to sport utility, van, or pick-up truck versus car crashes: Crash Injury Research Engineering Network Study. *The Journal of Trauma*, 51(5), 975–990. <https://doi.org/10.1097/00005373-200111000-00024>

- Strandroth, J., Rizzi, M., Sternlund, S., Lie, A., & Tingvall, C. (2011). The Correlation Between Pedestrian Injury Severity in Real-Life Crashes and Euro NCAP Pedestrian Test Results. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/15389588.2011.607198*, 12(6), 604–613. <https://doi.org/10.1080/15389588.2011.607198>
- Strandroth, J., Sternlund, S., Lie, A., Tingvall, C., Rizzi, M., Kullgren, A., Ohlin, M., & Fredriksson, R. (2014). Correlation Between Euro NCAP Pedestrian Test Results and Injury Severity in Injury Crashes with Pedestrians and Bicyclists in Sweden. *Stapp Car Crash Journal*, 58, 213–231.
- Tyndall, J. (2021). Pedestrian deaths and large vehicles. *Economics of Transportation*, 26–27, 100219. <https://doi.org/10.1016/J.ECOTRA.2021.100219>
- Uddin, M., & Ahmed, F. (2018). Pedestrian Injury Severity Analysis in Motor Vehicle Crashes in Ohio. *Safety* 2018, Vol. 4, Page 20, 4(2), 20. <https://doi.org/10.3390/SAFETY4020020>
- Yau, K. K. W. (2004). Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention*, 36(3), 333–340. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00012-5)
- Yin, S., Li, J., & Xu, J. (2017). Exploring the mechanisms of vehicle front-end shape on pedestrian head injuries caused by ground impact. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 285–296. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2017.06.005>
- Zeng, Q., Wen, H., & Huang, H. (2016). The interactive effect on injury severity of driver-vehicle units in two-vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 59, 105–111. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2016.10.005>

# Bijlage

## 5.1 Bijlage 1: Bepaling van de motorkaphoogte

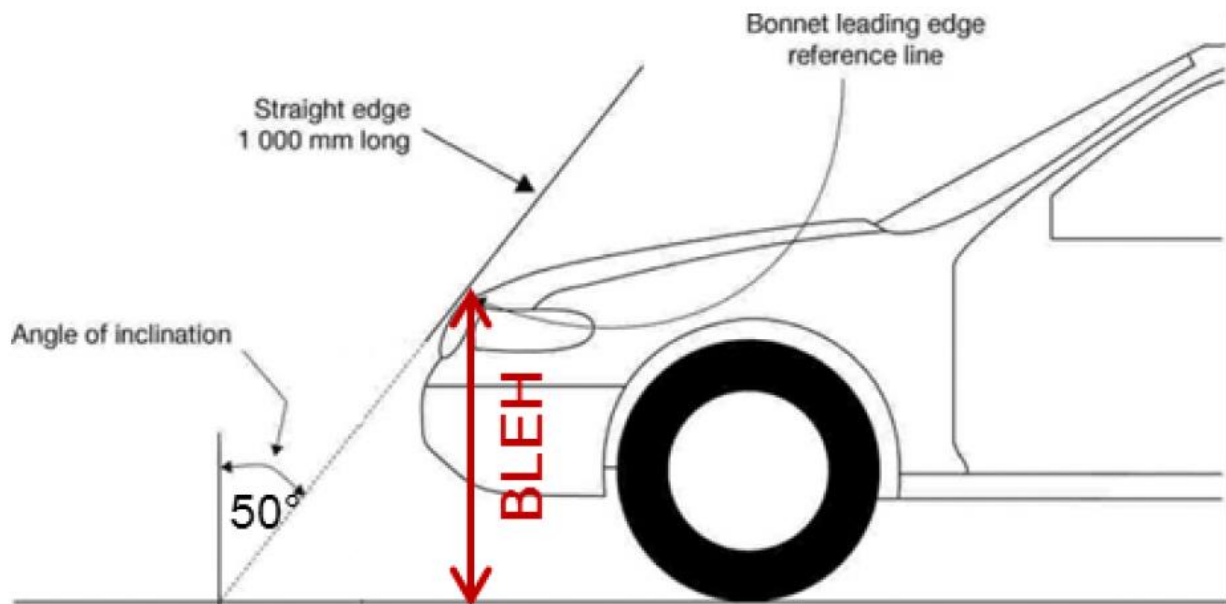
Er is geen algemene databank beschikbaar met informatie over de motorkaphoogte per versie van automodel. Voor deze studie moest de motorkaphoogte per modelversie dus zelf berekend worden. Dit is uitgevoerd voor 115 automodellen en al hun verschillende versies sinds 2000. De 115 automodellen werden geselecteerd op basis van hun frequentie in de ongevallenstatistieken. Wegens de intensief manuele berekeningswijze van motorkaphoogte was het niet mogelijk om de berekening voor alle automodellen in de ongevallengegevens te doen.

De berekening van de motorkaphoogte, ook wel bonnet lead edge height of BLEH genoemd, werd gebaseerd op de definitie van motorkaphoogte in de Europese Verordening 631/2009 en de berekeningswijze beschreven in het artikel van (Saadé et al., 2020). De beschrijving door (Saadé et al., 2020) is als volgt:

“Supposing that a print of the vehicle profile was available, a line was drawn tangent to the vehicle front-end and inclined by 50° from the vertical line. The intersection between this line and the vehicle front-end is called the bonnet leading edge reference line. The height of this reference line or its distance from the ground is called the BLEH.”

Voor deze studie voerden wij dezelfde meetstrategie uit als (Saadé et al., 2020). Figuur 7 is een visuele voorstelling van de bepaling van de motorkaphoogte. Omdat de bonnet leading edge reference line soms parallel aan de motorkap loopt werd per model een minimale motorkaphoogte en een maximale motorkaphoogte bepaald. Voor de analyses werd per modelversie het gemiddelde van deze twee waarden gebruikt. De schetsen op basis waarvan de motorkaphoogte werd berekend, waren meestal afkomstig van één van de twee volgende websites: <https://www.the-blueprints.com/> , <https://drawingdatabase.com/> .

Figuur 7: Bepaling van motorkaphoogte of bonnet lead edge height (BLEH) (Figuur afkomstig uit (Saadé et al., 2020) waar het ook al was afgeleid van een Figuur uit de Europese Verordening Nr. 631/2009)



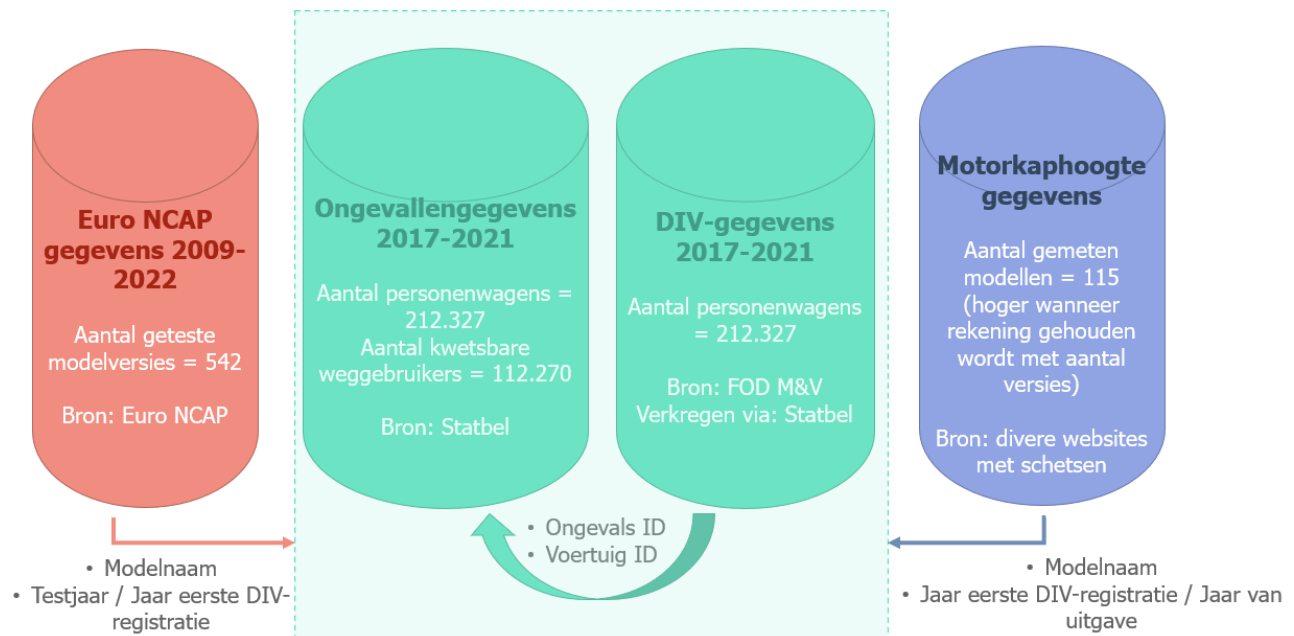
## 5.2 Bijlage 2: Koppeling van databanken

Figuur 8 biedt een schematisch overzicht van de koppelingen die tussen databanken werden gerealiseerd om tot de finale dataset te komen waarop de analyses werden uitgevoerd. Vooraleer de databanken aan elkaar werden gekoppeld, moesten enkele koppelvariabelen eerst “gecleaned” worden. Koppelvariabelen zijn



variabelen die gemeenschappelijk zijn in twee databanken en het mogelijk maken om informatie uit twee databanken aan elkaar te koppelen. Een voorbeeld daarvan is de variabele "modelnaam" welke in de vier databanken in Figuur 8 voorkomt en in enkele databanken gecleaned moest worden. Cleaning van "modelnaam" hield o.a. het ontdebelen van merknamen in: bv. "Nissan Nissan Micra" werd "Nissan Micra" in de databank "ongevallengegevens". Modellen die in de databank "ongevallengegevens" meerdere schrijfwijzes hadden werden zoveel mogelijk gereduceerd tot één schrijfwijze: bv. "vw golf", "volkswagen golf", en "volkswagen vw golf" werden allemaal omgezet naar "vw golf".

Figuur 8: Koppeling van databanken



Na de cleaning kon de daadwerkelijke koppeling uitgevoerd worden. De eerste koppeling werd uitgevoerd tussen de databank "ongevallengegevens" en de databank "DIV-gegevens". Beide databanken heeft Vias institute verkregen via Statbel. De DIV-gegevens of voertuiggegevens werden door Statbel enkel aangeleverd voor in België ingeschreven voertuigen die betrokken waren in een verkeersongeval. Vias institute heeft dus geen toegang tot voertuiggegevens voor het hele voertuigenpark in België. Koppeling tussen beide databanken gebeurt op basis van twee koppelingsvariabelen: een uniek identificatienummer voor het voertuig<sup>22</sup> en een uniek identificatienummer voor het ongeval. Deze gemeenschappelijke koppelingsvariabelen werden voorzien door Statbel.

Een volgende koppeling is deze tussen de in de vorige paragraaf gekoppelde gegevens en de gegevens over de motorkaphoogte per versie van een automodel. Dit gebeurt op basis van verschillende koppelingsvariabelen. Eén daarvan is de gecleande variabele modelnaam. Dit volstaat echter niet want doorheen de jaren worden verschillende versies van automodellen uitgegeven, en deze versies kunnen een verschillende motorkaphoogte hebben. Om te koppelen wordt daarom ook rekening gehouden met het jaar van uitgave van een modelversie in de motorkaphoogtegegevens enerzijds en het jaar waarop een voertuig voor het eerst in de Belgische administratie (Diens Inschrijving Voertuigen of DIV) is ingeschreven anderzijds. Informatie over de motorkaphoogte van de modelversie die het kortst het jaar van inschrijving van de auto van het corresponderende model voorafgaat, wordt toegevoegd aan de reeds gekoppelde gegevens.

Daarna wordt verder gekoppeld naar de Euro NCAP-gegevens. Deze Euro NCAP-gegevens bevatten o.a. de volgende informatie: een algemene veiligheidsscore (score van 1 tot en met 5 sterren), score voor volwassen inzittenden (in %), score voor kinderen als inzittenden (in %) en een score voor kwetsbare weggebruikers (in %). Een van de gebruikte koppelingsvariabelen is opnieuw modelnaam. Ondanks het feit dat de variabele modelnaam gecleaned is, bestaan er toch verschillende schrijfwijzes van automodellen in de te koppelen gegevens. Daarom werd een koppelingsalgoritme geschreven dat in zekere mate verschillende schrijfwijzes

<sup>22</sup> Dit nummer laat niet toe om na te gaan of eenzelfde voertuig (met eenzelfde chassisnummer) meerdere keren in een ongeval betrokken is geweest. Een voertuig krijgt evenveel unieke identificatienummers als dat het betrokken is in ongevallen.

toelaat. Het algoritme houdt trouwens ook rekening met het testjaar in de Euro NCAP-gegevens en het jaar waarop een voertuig voor het eerst in de Belgische administratie werd ingeschreven.

Het koppelingsalgoritme leidt tot twee soorten matches:

- Exacte match: hiervan is sprake wanneer de modelnaam van het voertuig in de reeds gekoppelde gegevens exact overeenkomt met de modelnaam in de Euro NCAP-gegevens.
- Approximatieve match: in dit geval is er geen exacte overeenstemming; via het "cosine similarity algorithm" wordt de gelijkheid tussen modelnamen in de verschillende datasets gemeten; de gelijkheid varieert van 0% (geen gelijkheid) tot 100%.

Door middel van het algoritme wordt de modelnaam van ieder voertuig in de gekoppelde gegevens vergeleken met de Euro NCAP-gegevens. Als de modelnamen precies overeenstemmen, spreken we van de zogenaamde "exacte match". Een extra voorwaarde voor een exacte match is dat het om het testjaar in de Euro NCAP-gegevens gaat dat het jaar van inschrijving het kortst voorafgaat. Sommige automodellen zijn immers meerdere keren door Euro NCAP getest omdat er verschillende modelversies zijn. De extra voorwaarde is nodig om ons ervan te verzekeren dat de juiste versie van het automodel in de Euro NCAP-gegevens wordt gelinkt aan de juiste versie in de reeds gekoppelde gegevens.

Wanneer er geen exacte match is dan geeft het "cosine similarity algorithm" de mate van gelijkheid weer onder de vorm van een percentage. De "cosine similarity algorithm" meet de overeenkomst tussen twee vectoren van een inwendig-productruimte. Zij wordt gemeten aan de hand van de cosinus van de hoek tussen twee vectoren en bepaalt of twee vectoren ongeveer in dezelfde richting wijzen. Zij wordt vaak gebruikt om de overeenkomst tussen documenten te meten bij tekstanalyse. Daarom werd in onze analyse tijdens de approximatieve match elke automodelnaam omgezet in een vector met behulp van het R pakket CountVectorizer<sup>23</sup>. De gegenereerde vectoren werden vervolgens vergeleken met behulp van het "cosine similarity algorithm" om een waarschijnlijkheid van overeenkomst te genereren<sup>24</sup>. Opdat een koppeling tot stand zou komen moet het matchingalgoritme een koppelingsgraad van minstens 70% aangeven en moeten de voorwaarden rond testjaar en jaar van inschrijving vervuld zijn.

---

<sup>23</sup> [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature\\_extraction.text.CountVectorizer.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.feature_extraction.text.CountVectorizer.html)

<sup>24</sup> <https://towardsdatascience.com/understanding-cosine-similarity-and-its-application-fd42f585296a>



**Vias institute**

Haachtsesteenweg 1405  
1130 Brussel

+32 2 244 15 11

[info@vias.be](mailto:info@vias.be)

[www.vias.be](http://www.vias.be)