Veilige personenauto's

SWOV-factsheet, februari 2022

SWOV-factsheets bevatten korte en duidelijke antwoorden op de meest gestelde vragen over een specifiek verkeersveiligheidsonderwerp en worden met enige regelmaat geactualiseerd. Zie swov.nl/factsheets voor de meest actuele versie van de factsheets.

Samenvatting

De veiligheid van auto-inzittenden is sinds de jaren ’70 sterk verbeterd, zowel uitgedrukt in het aantal doden door ongevallen, als in het overlijdensrisico. Vanaf 2011 is er echter geen sprake meer van een daling van het aantal doden onder inzittenden van personenauto’s. De positieve ontwikkelingen in de afgelopen veertig jaar zijn mede toe te schrijven aan nieuwe/vernieuwde voorzieningen in auto’s en aan wetgeving voor de verplichte aanwezigheid (of het gebruik) van die voorzieningen. Het gaat hier bijvoorbeeld om autogordels, airbags en hoofdsteunen. Sinds 2000 is de veiligheid van personenauto’s verbeterd door elektronische stabiliteitscontrole (ESC) en Autonomous Emergency Braking (AEB). Naast de veiligheid voor auto-inzittenden, is de veiligheid voor overige verkeersdeelnemers, zoals fietsers en voetgangers verbeterd. Dit is vooral het gevolg van het botsvriendelijke autofront, Autonomous Emergency Braking (AEB) en het Antiblokkeersysteem (ABS). Een verdere toename van de veiligheid van personenauto’s is te verwachten wanneer bij de ontwikkeling van veiligheidssystemen en bij botsproeven wordt gekeken naar een goede afspiegeling van de gehele bevolking en dus beter rekening wordt gehouden met de diversiteit in maten en gewichten.

Deze factsheet gaat specifiek over de veiligheid van het voertuig, niet over kenmerken of het gedrag van automobilisten. Informatie hierover staat in verschillende andere SWOV-factsheets. Over intelligente voertuigveiligheid is meer informatie te vinden in de SWOV-factsheet *Intelligente transport- en rijhulpsystemen (ITS en ADAS)*.

1 Hoeveel personenauto’s zijn er in Nederland en hoeveel kilometers leggen zij af?

In 2019 waren er ruim 9,5 miljoen personenauto’s met een Nederlands kenteken (een deel van het jaar) toegelaten op de openbare weg [1]. Hiervan stonden 8,3 miljoen op naam van particulieren en 1,2 miljoen op naam van bedrijven. Zij legden dat jaar respectievelijk 82 miljard en 22 miljard – gezamenlijk ruim 104 miljard – kilometer af op Nederlandse wegen. Hoewel het grootste aandeel personenauto’s op naam van particulieren geregistreerd stond, legden personenauto’s op naam van bedrijven per voertuig ongeveer twee keer zo veel kilometers af (zie *Tabel 1*).

Tabel 1. Aantal personenauto's (dat minstens een deel van het jaar 2019 een Nederlands kenteken had) en aantal gereden kilometers in Nederland per type eigenaar.

Eigenaar	Aantal personenauto's in 2019	Aantal gereden kilometers in 2019* (x mln)	Gemiddeld aantal gereden kilometers in 2019
Particulier	8.328.873	82.046	9.851
Bedrijf	1.204.118	22.720	18.869
Totaal	9.532.991	104.766	10.990

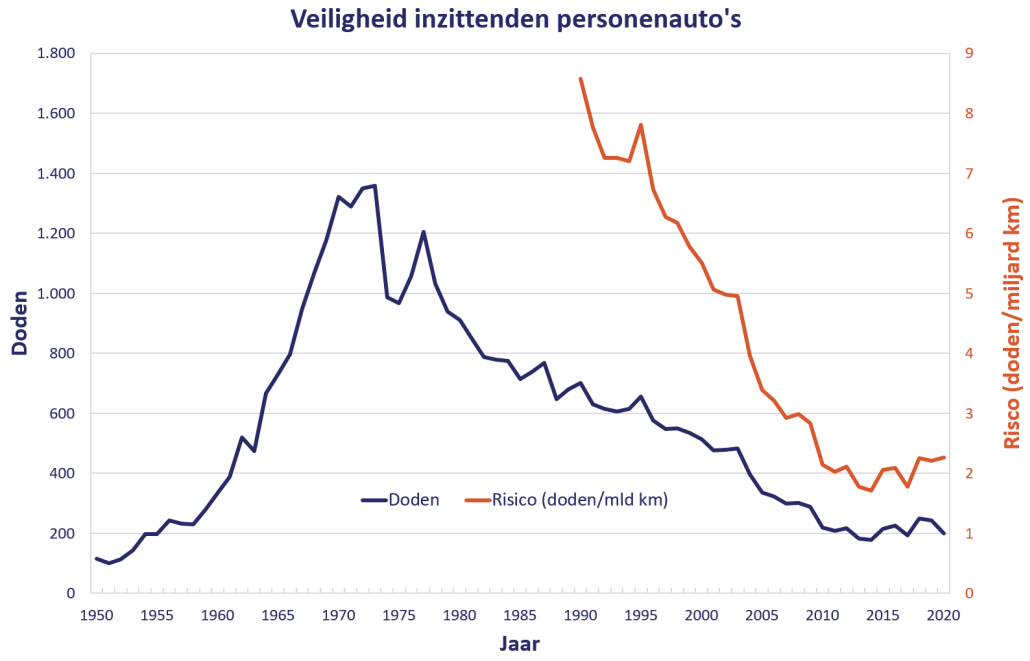
** Dit betreft voorlopige cijfers voor 2019. Bron: CBS Statline [1].*

2 Hoe heeft de veiligheid van auto-inzittenden zich ontwikkeld?

De veiligheid van auto-inzittenden is sinds de jaren '70 sterk verbeterd, zowel uitgedrukt in het aantal verkeersdoden, als in het overlijdensrisico. De blauwe lijn in *Afbeelding 1* geeft aan hoeveel doden onder inzittenden van personenauto's bij ongevallen tussen 1950 en 2020 jaarlijks zijn geregistreerd.[1] We zien in de periode van 1950 tot begin jaren '70 een toename van het aantal doden, met een piek van 1358 doden in 1973. In de periode van 1976 tot 2011 zien we een daling van het aantal doden. Sinds 2011 is er geen sprake meer van een daling van het aantal doden onder inzittenden van personenauto's. De rode lijn in *Afbeelding 1* geeft aan hoe het overlijdensrisico zich heeft ontwikkeld tussen 1990 en 2020.[2] Als maat voor het overlijdensrisico gebruiken we het aantal doden onder inzittenden van binnenlandse en buitenlandse personenauto's per miljard afgelegde voertuigkilometers in Nederland . Met uitzondering van een piek in 1995, zien we dat het overlijdensrisico tussen 1990 en 2014 is gedaald van 8,5 naar 1,7 doden per miljard kilometer en dat het overlijdensrisico sindsdien is opgelopen naar 2,3 doden per miljard kilometer. Het overlijdensrisico was in 2020 hoger dan in 2019.

1 Het aantal geregistreerde verkeersdoden is lager dan het werkelijk aantal verkeersdoden. Zie ook de SWOV-factsheet *Verkeersdoden in Nederland*.

2 Over de periode 1950-1989 zijn op het moment van opstellen van deze factsheet geen verkeersprestaties bekend. De verkeersprestaties van 2018, 2019 en 2020 worden door CBS aangeduid als 'voorlopig', waardoor ook het overlijdensrisico van 2018, 2019 en 2020 als 'voorlopig' dient te worden geïnterpreteerd.



Afbeelding 1. Aantal geregistreerde doden onder inzittenden van personenauto's (periode 1950-2020) en het overlijdensrisico gedefinieerd als het aantal geregistreerde doden onder inzittenden van personenauto's per miljard afgelegde kilometers (periode 1990-2020). De verkeersprestaties van 2018, 2019 en 2020 betreffen voorlopige cijfers. (Bronnen verkeersdoden: 1950-1975 CBS, 1976-2003 VOR, 2004-heden BRON, laatste update met BRON-2020, dd augustus 2021; bron verkeersprestaties: CBS [2])

3 Aan welke eisen moeten auto's en hun bestuurders voldoen?

Auto's

De *Regeling Voertuigen* [3] beschrijft drie typen eisen waaraan personenauto's moeten voldoen: toelatingseisen, permanente eisen en gebruikseisen. De toelatingseisen worden op Europees niveau [4] [5] bepaald en betreffen per voertuigcategorie onder andere de massa en afmetingen van het voertuig, het geluidsniveau, de verlichting, de stuurvoorziening, het remsysteem en de inzittendenveiligheid. Auto's worden toegelaten op de openbare weg als zij een typegoedkeuring hebben en daarmee voldoen aan de toelatingseisen. Europese lidstaten mogen hierbij geen strengere eisen toepassen.

De permanente eisen hebben betrekking op de technische staat van het voertuig en worden periodiek vastgesteld tijdens de *Algemene Periodieke Keuring (APK)* [6]. De Europese keuringseisen [7] zijn minimumeisen, lidstaten mogen hogere normen hanteren. Zie ook de vraag *Hoe draagt de Algemene Periodieke Keuring (APK) van voertuigen bij aan verkeersveiligheid?*

De gebruikseisen hebben betrekking op hoe de auto mag worden gebruikt. Denk hierbij aan het vervoeren van lading (gewicht en afmetingen), het trekken van aanhangwagens en het zicht van de bestuurder. Zo mogen voorwerpen of passagiers het zicht van de bestuurder op de voorruit en voorste zijruiten niet belemmeren en moeten de spiegels goed zijn afgesteld. Europese lidstaten bepalen zelf de gebruikseisen. Zij moeten hierbij wel aan een aantal randvoorwaarden voldoen [8]:

- de regels mogen vanwege mogelijke (internationale) handelsbelemmeringen niet zo ver strekken, dat daarmee het feitelijke gebruik van het voertuig op de weg onmogelijk is;
- de regels moeten worden gemotiveerd op basis van te beschermen overheidsbelangen, waaronder verkeersveiligheidsbelangen;
- de regels moeten in de praktijk te handhaven zijn.

Naast deze drie typen eisen, bestaan er Euro-NCAP-normen waaraan autofabrikanten vrijwillig kunnen voldoen om de veiligheid te verbeteren en zich te onderscheiden van andere fabrikanten. Zie ook de vraag *Hoe draagt Euro NCAP bij aan verkeersveiligheid?*

Bestuurders

Wie met een auto aan het verkeer wil deelnemen, moet een autorijbewijs hebben. Om in aanmerking te komen voor een autorijbewijs, moet je minimaal 17 jaar zijn, in goede gezondheid verkeren en over de kennis en vaardigheden beschikken die een veilige, vlotte en milieuvriendelijke verkeersdeelname mogelijk maken. Tot de 18e verjaardag mag alleen onder begeleiding van een ervaren bestuurder gereden worden. Zie voor meer informatie de SWOV-factsheet *Rijopleiding en -examen*.

Daarnaast is er een rijgeschiktheidskeuring voor oudere bestuurders (leeftijdsgebonden keuring). Zie hiervoor de SWOV-factsheet *Ouderen in het verkeer*.

4 Hoe is de veiligheid van auto's door de jaren verbeterd?

Sinds de eerste auto's begin 20e eeuw op de markt kwamen, zijn er tal van ontwikkelingen geweest waardoor de veiligheid van inzittenden is verbeterd. Deze ontwikkelingen zijn mede toe te schrijven aan nieuwe/vernieuwde voorzieningen in auto's en aan wetgeving voor de verplichte aanwezigheid (of het gebruik) van die voorzieningen. Zo laat een Zweedse studie naar verkeersongevallen in de periode 1994-2018 zien dat inzittenden van nieuwe auto's (bouwjaar 2014-2018) een 67% kleinere kans hadden op ernstig letsel (AIS3+) en een 58% lagere kans op een dodelijke afloop ten opzichte van inzittenden van oude auto's (bouwjaar 1980-1984) [9].[3] Op basis van bestaande overzichten [8] [10] beschrijven wij hier van enkele belangrijke

3 Deze studie vergelijkt oude met nieuwe auto's in de huidige verkeerscontext, waarmee de vraag wordt beantwoord of het nú veilig is om in een oude auto te rijden. Voor de vraag of een nieuwe auto destijds veiliger was dan een nieuwe auto tegenwoordig, vergelijkt men idealiter het ongevalsrisico van auto's met dezelfde leeftijd in verschillende tijdsperiodes (bijvoorbeeld op basis van ongevallen uit 1985 met auto's van bouwjaar 1980 versus ongevallen uit 2020 met auto's van bouwjaar 2015).

voorzieningen wanneer zij op de markt kwamen, of en wanneer deze in Nederland verplicht werden gesteld en wat er bekend is over het effect van deze voorzieningen op de verkeersveiligheid (zie *Tabel 2*). Hierbij dient opgemerkt te worden dat veel auto's al waren uitgerust met voorzieningen voordat deze verplicht gesteld werden (zie ook de vraag *Hoe draagt Euro NCAP bij aan verkeersveiligheid?*). Deze effectiviteitscijfers kunnen niet worden gebruikt voor een inschatting van het totaal aantal bespaarde verkeersslachtoffers, omdat sommige voorzieningen ingrijpen op hetzelfde type ongeval. Aanvullende informatie over de voorzieningen in *Tabel 2* staat bij de overige vragen in deze factsheet.

Tabel 2. Overzicht van voorzieningen en hun effect op de veiligheid voor inzittenden.

Voorzieningen		Jaar markt-introductie*	Jaar verplicht-stelling in NL **	Huidige wetgeving ***	Effectiviteit
Veiligheidskooi/kreukelzone		Jaren 40-1966	Niet verplicht aanwezig	Ontwerp kan helpen bij behalen criteria UN/ECE 94 (krachten bij frontale aanrijding), UN/ECE 95 (krachten bij een zijaanrijding)	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de kreukelzone.
Autogordels	Driepunts-gordels voorin	1959	1971 (aanwezigheid) 1975 (draagplicht)	UN/ECE 14,16,137, 145 (technische eisen), RVV 1990 (draagplicht)	Kans op dodelijke afloop of ernstig letsel bij ongeval: -60% [11].
	Driepunts-gordels achterin	1972	1990 (aanwezigheid) 1992 (draagplicht)		Kans op dodelijke afloop ongeval of ernstig letsel: -44% [11].
Hoofdsteunen		1968	1997 (voorin)	UN/ECE 17 UN/ECE 25	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de aanwezigheid van hoofdsteunen.
Antiblokkeersysteem (ABS)		1971	Niet verplicht aanwezig	UN/ECE 13H (indien aanwezig)	Kans op enkelvoudige ongevallen (waaronder omrollen en botsen tegen een vast object): +14% tot +22%. Kans op een aanrijding met voetgangers, fietsers en dieren: -27%. Kans op een aanrijding van afslaande voertuigen: -8%. Kans op letsel bij een ongeval: -1%. Kans op dodelijke afloop ongeval: +6% [12].

Voorzieningen		Jaar markt-introductie*	Jaar verplicht-stelling in NL **	Huidige wetgeving ***	Effectiviteit
Kinderzitjes		1972	1977	Richtlijn 2003/20/EG	Kans op ernstig letsel bij gebruik van een kinderzitje: -28% tot -81% [13] [14]. Uit ongevallenstudies blijkt geen eenduidig effect voor het gebruik van zittingverhogers [15].
Airbags	Bestuurder (front-airbag)	1980	Niet verplicht aanwezig. In de praktijk zijn front-airbags voor bestuurder en bijrijder standaard aanwezig.	UN/ECE 94 (informatie over aanwezigheid van airbags) UN/ECE 114 (technische eisen vervangings-airbagsystemen) Airbags kunnen bijdragen aan het behalen van de criteria voor UN/ECE 135 [16]	Kans op dodelijke afloop ongeval bij gordelgebruik: -11% (samengenomen voor alle ongevalstypes) tot -22% (specifiek voor frontale botsingen) [17] [18].
	Zijairbags	1994			Kans op dodelijke afloop of ernstig letsel voor zij-aanrijding aan bestuurderszijde bij combinatie zijairbags en gordijnairbags: -41% (samengenomen voor alle lichaamsdelen) tot -48% (specifiek voor hoofd, nek, gezicht, borst en buik) [19].
	Gordijnairbags	1998			
Elektronische Stabiliteitsregeling (ESC) ****		1996	2014	EC 661/2009 UN/ECE 140	Kans op dodelijke afloop enkelvoudig ongeval: -30% tot -50% voor reguliere personenauto's, -50 tot -70% voor SUV's [20]. Kans op dodelijke afloop over de kop slaan: -70 tot -90% [20].
Autonomous Emergency Braking (AEB)		2000	2024	EC 2019/2144	Kans op plaatsvinden van een kop-staartaanrijding: -38% [21] tot -43% [22]. Kans op een kop-staartaanrijding met letsel: -45% [22].

** Jaartallen marktintroductie overgenomen uit van Kampen et al. . [8], m.u.v. ABS [23].*

*** Bronnen jaartallen verplichtstelling voor nieuwe personenauto's: autogordels en draagplicht voorin [8], autogordels achterin (Art. 5.2.47, lid 2 in: [3], draagplicht autogordels achterin (Art. 1 in: [24], hoofdsteunen (Art. 2 in: [25], kinderzitjes [8], ESC (Artikel 13, lid 5 in [26], AEB (Bijlage 2, lid C9 in: [5]). De datum voor de verplichtstelling van voorzieningen voor typegoedkeuring van nieuwe modellen personenauto's ligt doorgaans 2 jaar voor de datum voor de verplichtstelling van voorzieningen voor nieuwe personenauto's.*

**** UN/ECE richtlijnen zijn te raadplegen in [27].*

***** ESC is oorspronkelijk geïntroduceerd onder de noemer 'elektronisch stabiliteitsprogramma' (ESP).*

5 Hoe is de veiligheid van auto's verbeterd voor overige verkeersdeelnemers?

Door de jaren heen is de veiligheid van auto's verbeterd voor overige verkeersdeelnemers; de kans op een aanrijding tussen auto's en fietsers of voetgangers is afgenomen, evenals de kans op een ernstige afloop van dergelijke aanrijdingen. In *Tabel 3* staat van enkele belangrijke voorzieningen een samenvatting van wanneer zij op de markt kwamen, of en wanneer deze in Nederland verplicht werden gesteld en wat er bekend is van het effect van deze voorzieningen op

de verkeersveiligheid. Bedenk hierbij dat veel auto's al waren uitgerust met voorzieningen voordat deze verplicht gesteld werden (zie ook de vraag *Hoe draagt Euro NCAP bij aan verkeersveiligheid?*). Deze effectiviteitscijfers kunnen niet worden gebruikt voor een inschatting van het totaal aantal bespaarde verkeersslachtoffers, omdat sommige voorzieningen ingrijpen op hetzelfde type ongeval. Zie voor aanvullende informatie over de voorzieningen in *Tabel 3* de overige vragen in deze factsheet.

Tabel 3. Overzicht van voorzieningen en hun effect op de veiligheid voor overige medeweggebruikers

Voorzieningen		Jaar markt-introductie*	Jaar verplicht-stelling in NL **	Huidige wetgeving ***	Effectiviteit
Antiblokkeersysteem (ABS)		1971	Niet verplicht aanwezig	UN/ECE 13H (indien aanwezig)	Kans op aanrijding van voetgangers, fietsers en dieren: -27%. Over de ernst van deze ongevallen zijn geen gegevens bekend [12] [28] [29].
AEB voor voetgangers en fietsers		Onbekend	2026	EC 2019/2144	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de aanwezigheid van voetgangers-AEB en fietsers-AEB.
Voetgangers-vriendelijk autofront	Pop-up motorkap	2006	Niet verplicht, wel getest door Euro NCAP [30]	Ontwerp kan helpen bij behalen criteria voor impact met het hoofd, UN/ECE 127	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de aanwezigheid van een pop-upmotorkap.
	Voetgangers-airbag	2012		n.v.t.	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de aanwezigheid van voetgangersairbags.
Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) voor de hoorbaarheid van stille elektrische voertuigen bij lage snelheid		2011	2021 [31]	EC 540/2014, UN/ECE 138	Er zijn geen ongevallenstudies bekend over het veiligheidseffect van de aanwezigheid van AVAS.

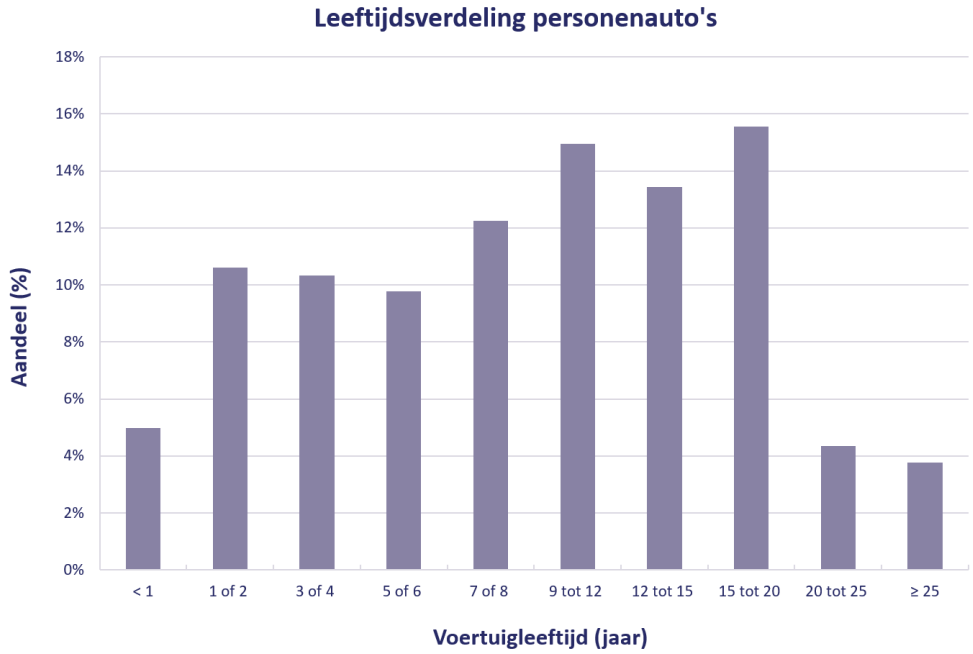
** Jaartallen marktintroductie: ABS [23], AEB [8], pop-upmotorkap [32], voetgangersairbag [33], AVAS [34]. Van de voorziening AEB voor voetgangers en fietsers kon niet achterhaald worden wanneer deze voor het eerst op de markt verscheen.*

*** Jaartallen verplichtstelling voor nieuwe personenauto's: AEB [35], AVAS [31].*

**** UN/ECE richtlijnen zijn te raadplegen in [27].*

6 Wat is de leeftijd van het Nederlandse wagenpark?

De leeftijdsverdeling van personenauto's per 1 januari 2020 staat weergegeven in *Afbeelding 2*. Hieruit blijkt dat het gemiddeld zo'n tien jaar duurt voor minstens de helft van het wagenpark met een nieuwe of vernieuwde veiligheidsvoorziening is uitgerust. Op de peildatum 1 januari 2020 beschikte bijvoorbeeld ten minste 36% van de auto's over de sinds 2014 verplicht aanwezige elektronische stabiliteitsregeling.



Afbeelding 2. Leeftijdsverdeling Nederlandse personenauto's per 1 januari 2020. Op deze peildatum bedroeg het totaal aantal Nederlandse personenauto's 8.677.911 stuks. Bron: CBS/RDW [36].

7 Hoe veilig zijn SUV's?

Een Sports Utility Vehicle (SUV) is een relatief grote en zware personenauto, die hoger op de wielen staat dan reguliere personenauto's. Al in 2005 beschreven Van Kampen et al. [8] een gestage toename van massa-ongelijkheid tussen personenauto's, met name tussen de compacte klasse en de SUV-klasse. Bij een groter massaverschil tussen twee botsende voertuigen vangt het lichtere voertuig een grotere klap op dan het zwaardere voertuig. Dit principe wordt geïllustreerd in ongevallenstudies, waaruit blijkt dat de kans op overlijden significant groter is voor inzittenden van een reguliere personenauto wanneer zij in aanrijding komen met een SUV, terwijl de kans op overlijden voor de inzittenden van een SUV juist significant kleiner is [37] [38]. SUV's zijn dus veilige voertuigen voor de inzittenden, maar kennen een verhoogd risico voor het overige verkeer De Amerikaanse ongevallenstudie van Monfort en Nolan [38] meldt daarentegen dat in de periode 1989-2016 bij ongevallen met een dodelijke afloop tussen reguliere personenauto's en SUV's, de massa-ongelijkheid is afgenomen. Het is niet bekend in hoeverre deze afname ook in Europa speelt, waar reguliere personenauto's gemiddeld lichter zijn dan in Amerika [39].

De bumpers van SUV's zijn doorgaans hoger geplaatst dan bumpers van reguliere personenauto's, waardoor de energie bij een botsing tussen deze voertuigtypes niet optimaal opgevangen kan worden en er een risico bestaat op onderschuiving [40]. In Amerika heeft de auto-industrie een standaard opgesteld om de energie-absorberende structuur achter de bumper van SUV's te verlagen naar de hoogte die gebruikelijk is bij reguliere personenauto's. Over het veiligheidseffect van deze vrijwillige maatregel bestaat geen consensus. Baker et al. [41] vonden

op basis van Amerikaanse ongevallen tussen SUV's en reguliere personenauto's dat de kans op dodelijk letsel bij bestuurders van personenauto's afnam bij een SUV waarvan de hoogte van de energie-absorberende structuur was aangepast op die van reguliere personenauto's. Terwijl Ossiander et al. [42], ook op basis van ongevallen, geen effect vonden van lagere bumpers op SUV's. In tegenstelling tot de studie van Baker et al. [41] werd hier niet alleen gecorrigeerd voor de effecten van gordeldracht en voertuigmassa, maar ook voor overige factoren, zoals wegtype, snelheidslimiet en kenmerken van de bestuurders.

Er zijn geen ongevallenstudies bekend over de (on)veiligheid van SUV's ten opzichte van reguliere personenauto's voor kwetsbare verkeersdeelnemers zoals voetgangers en fietsers.

8 Hoe veilig zijn elektrische auto's?

Drie factoren zorgen ervoor dat elektrische auto's mogelijk onveiliger zijn dan auto's met een verbrandingsmotor: een lagere geluidsintensiteit, brandgevaar door de batterij, en het grotere gewicht van elektrische auto's.

Lagere geluidsintensiteit

Geluid is – met name voor fietsers en voetgangers – belangrijk voor het waarnemen van andere verkeersdeelnemers die zich buiten het zichtveld bevinden en bij verminderde zichtbaarheid van andere verkeersdeelnemers, zoals mist en duisternis [43] [44] [45]. Uit een literatuurstudie blijkt dat elektrische voertuigen stiller zijn dan auto's met een verbrandingsmotor bij snelheden tot 20 à 30 km/uur [46]. Boven deze snelheid zijn er geen verschillen in geluidsintensiteit gevonden, hoogstwaarschijnlijk doordat het bandengeluid dan harder is dan het motorgeluid.

Per 1 juli 2021 moeten alle nieuwe hybride en volledig elektrische voertuigen in de Europese Unie zijn uitgerust met een *Acoustic Vehicle Alerting System* (AVAS), ofwel kunstmatig toegevoegd geluid bij een voorwaartse snelheid tot 20 km/uur en bij achteruitrijden [47]. Een veldstudie illustreert dat de aanwezigheid van AVAS stille elektrische voertuigen beter waarneembaar maken voor fietsers en voetgangers [48]. Toch zijn er kanttekeningen te plaatsen bij de richtlijn. Zo schrijft de richtlijn niet voor hoe het geluid precies moet klinken. Dit biedt ontwerpruimte voor autofabrikanten en keuzemogelijkheden voor bestuurders, maar kan potentieel ook tot een gebrek aan herkenning leiden bij medeweggebruikers [49] [50].

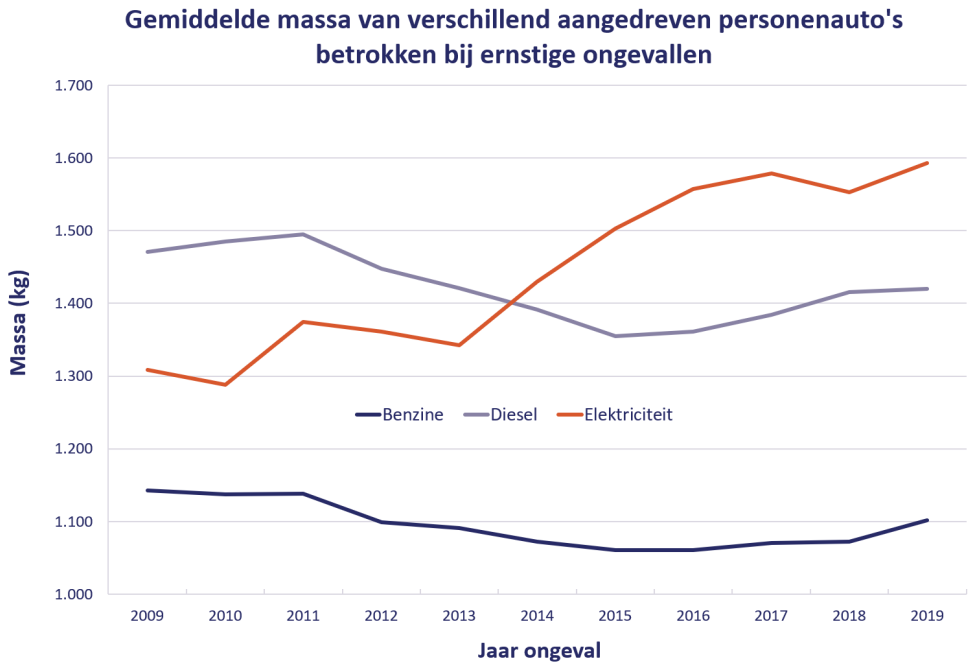
Brandgevaar door batterij

Uit ongevallencijfers valt niet te herleiden of brand de oorzaak was van eventueel letsel bij een ongeval. Niettemin zijn er door de batterijen van elektrische auto's extra mogelijkheden voor (brand)gevaar ten opzichte van auto's met een verbrandingsmotor. Bij extreme hitte of kou neemt de kans op het ontstaan van brand in de batterij bijvoorbeeld toe [51]. Dergelijke extreme omstandigheden zijn in Nederland echter zeer zeldzaam. Daarnaast is er bij een aanrijding met een groot snelheidsverschil kans dat er batterijschade – en daarmee brand – ontstaat [51].

Ook het blussen van brand bij een elektrische auto verschilt van het blussen van brand bij een auto met een brandstofmotor. Doordat de binnenkant van de batterij niet bereikbaar is voor blusmiddelen, kan de batterij tot dagen na het ongeval opnieuw spontaan ontvlammen als deze niet voldoende gekoeld wordt (NTSC, 2018 in Sun et al. [51]). Hierdoor bestaat ten opzichte van auto's met verbrandingsmotoren een aanvullend gevaar voor mensen die belast zijn met het blussen, verplaatsen, opslaan, of onderzoeken van het voertuig.

Groter gewicht van elektrische auto's

Een voertuig met een grotere massa leidt bij een ongeval tot ernstiger letsel bij de tegenpartij dan een voertuig met een kleinere massa [52]. *Afbeelding 3* toont per brandstoftype de gemiddelde massa van personenauto's die betrokken waren bij een dodelijk ongeval of bij een ongeval met ernstig letsel in de periode 2009-2019 [4]. Hieruit blijkt dat de gemiddelde massa van (hybride) elektrische auto's in deze periode is toegenomen en dat de gemiddelde massa sinds 2014 groter is dan auto's aangedreven door alleen benzine of diesel. Op basis van het onderzoek van Berends [52] en bij voortzetting van de trend in *Afbeelding 3*, is het aannemelijk dat de ernst gemiddeld genomen hoger is bij ongevallen waarbij een elektrisch voertuig is betrokken.



Afbeelding 3. Gemiddelde massa van personenauto's, betrokken bij dodelijke ongevallen en letselongevallen in de periode 2009-2019, ongeacht de tegenpartij.[4] Onder 'elektriciteit' vallen ook hybride aangedreven voertuigen. Bron: BRON.

4 Om auto's met verschillende energiebronnen met elkaar te mogen vergelijken, kijken we hier enkel naar voertuigen die op de datum van het ongeval jonger dan 6 jaar waren. Hierdoor verkleint de kans dat voertuigen met en zonder (geavanceerde) voertuigveiligheidssystemen vergeleken worden. Ongevallen waarbij de personenauto werd aangedreven door LPG, aardgas, of alcohol zijn achterwege gelaten vanwege het geringe aantal ongevallen met deze brandstoftypes binnen de geselecteerde data.

9 Wat is het veiligheidseffect van een veiligheidskooi of kreukelzone?

Een veiligheidskooi is een rigide constructie ter bescherming van de inzittenden, die weinig vervormt bij een botsing. Kreukelzones voor en achter in een auto zorgen ervoor dat de g-krachten die bij een frontale botsing of een kop-staartbotsing op het lichaam van een inzittende worden overgedragen, kleiner zijn. Dit wordt bereikt door de kinetische energie die bij een aanrijding vrijkomt grotendeels op te nemen door het vervormen van de kreukelzone. Er zijn geen ongevallenstudies bekend waaruit het effect van kooiconstructies en kreukelzones op de veiligheid van inzittenden blijkt. Aangezien auto's al decennia standaard met deze gecombineerde voorziening worden uitgerust, is het onwaarschijnlijk dat een vergelijkende ongevallenstudie tussen auto's met en zonder deze gecombineerde voorziening kan worden uitgevoerd. Wel is de kwaliteit van de kooiconstructie en de kreukelzone in de loop der jaren verbeterd, bijvoorbeeld door materiaalgebruik. Dit kan hebben bijgedragen aan de verbeterde veiligheid van nieuwe auto's ten opzichte van oude auto's [9].

De combinatie van een veiligheidskooi met een kreukelzone is niet verplicht gesteld in de toelatingseisen van een voertuig. Het gebruiken van deze combinatie kan echter wel bijdragen aan het behalen van de eisen in UN/ECE-richtlijnen 94 en 95 [27], waarin is gespecificeerd welke krachten er door het voertuig maximaal op een inzittende mogen worden uitgeoefend bij een botsproef met respectievelijk een frontale aanrijding en een zijaanrijding.

10 Wat is het veiligheidseffect van autogordels?

Een beschouwing van 30 internationale studies toont aan dat door het dragen van een driepuntsautogordel de kans op een dodelijke afloop en de kans op ernstig letsel bij een ongeval met ongeveer 60% afnemen voor inzittenden voor in het voertuig en met ongeveer 44% voor inzittenden achter in het voertuig [11]. In termen van specifiek letsel vond een andere beschouwing van 11 internationale studies dat het dragen van autogordels resulteert in het verminderen van letsel aan gezicht, buik en rug [53]. Er werden geen significante effecten gevonden op het verminderen van letsel aan hoofd, nek, borstregio en ledematen.

Een gordel lijkt betere bescherming te bieden aan mannen van middelbare leeftijd dan aan ouderen (65+) [54] of vrouwen [54] [55]. Dit kan komen doordat autogordels worden getest met dummy's op basis van een volwassen man [56] [57]. Ten opzichte van een volwassen man hebben ouderen onder andere relatief broze botten, waardoor de kans op gebroken ribben toeneemt door de impact van de gordel bij een botsing [58]. Voor het verschil in letselernst tussen gordeldragende mannen en vrouwen noemen ongevallenstudies dat vrouwen gemiddeld een dunnere nek en minder sterke nekspieren hebben dan mannen [54] [55]. Bij een ongeval fixeert een gordel het lichaam, maar niet het hoofd. Gecombineerd met een suboptimaal gepositioneerde hoofdsteun (eveneens getest met dummy's op basis van een volwassen man) neemt hierdoor de kans op whiplash-gerelateerd letsel toe.

Op 1 januari 1971 werden bevestigingspunten en gordels voorin in nieuwe personenauto's verplicht. Vanaf 1 juni 1975 werd het verplicht de gordel te dragen op voorzitplaatsen en vanaf 1 april 1992 ook op achterzitplaatsen. Bij een steekproef in 2010 droeg in de personenauto 97% van de inzittenden voorin een gordel, achterin was dat ongeveer 82% [59]. In 2020 werd bij een soortgelijke steekproef een gordeldracht van 99% gevonden bij inzittenden in de personenauto, waarbij geen onderscheid werd gemaakt tussen inzittenden voorin en achterin [60]. Bij dodelijke ongevallen blijken inzittenden minder vaak de gordel te hebben gedragen; op Nederlandse rijkswegen droeg een kwart tot een derde van de overleden inzittenden geen gordel. Ruim de helft van hen werd geheel of gedeeltelijk uit het voertuig geslingerd [61] [62].

Het veiligheidseffect van autogordels is het grootst wanneer deze correct, strak over het lichaam, gedragen worden [63]. Wanneer een gordel te veel speling heeft, ontstaat bij een botsing een grotere belasting op het lichaam, waardoor bijvoorbeeld het borstbeen en ribben kunnen breken. Men dient daarom geen dikke jas te dragen en ook geen spullen in de zakken te hebben die in het lichaam kunnen worden gedrukt. Ook kan men deels onder de gordel doorschieten als er te veel speling is, waarbij inwendig buikletsel optreedt door de heupgordel en beenletsel door aanraking met harde delen van de auto. Het diagonale of schoudergedeelte kan beter niet te dicht langs de hals lopen, maar diagonaal over het midden van de schouder en het midden van het borstbeen. Om te bereiken dat het schoudergedeelte zo goed mogelijk wordt gefixeerd, zijn auto's vaak uitgerust met een verstelbaar bovenste ankerpunt, dat de gebruiker zelf kan afstellen, afhankelijk van de lengte van zijn bovenlichaam en de stoelpositie. Het heupgedeelte dient zo laag mogelijk te lopen, over de bovenbenen, en niet in de buikstreek in verband met orgaanletsel. Vooral zwangere vrouwen dienen hierop bedacht te zijn [64].

11 Wat is het veiligheidseffect van airbags?

Veelvoorkomende airbags voor inzittenden zijn front-airbags, zij-airbags, gordijn-airbags, gordel-airbags en knie-airbags. Ieder type airbag is ontwikkeld voor het verhinderen van specifiek letsel, vaak gerelateerd aan specifieke ongevalstypes. De meeste airbagcategorieën verbeteren de veiligheid van inzittenden in de praktijk significant, met name in combinatie met het dragen van een autogordel. Er zijn echter ook ongewenste neveneffecten van airbags bekend.

Positieve effecten

Front-airbags zijn effectief wanneer men een gordel draagt en dienen daarom als aanvulling op gordels te worden beschouwd. Een beschouwing van 22 internationale ongevallenstudies rapporteert een afname van dodelijke ongevallen van 15% door front-airbags wanneer de bestuurder een gordel draagt. Voor frontale botsingen bedraagt de reductie van dodelijke slachtoffers 22% door front-airbags voor bestuurders die een gordel dragen. Bij ongevallen waarbij de bestuurder geen gordel droeg, kon geen significant effect van front-airbags worden vastgesteld op het voorkomen van dodelijk letsel [18]. Airbags in de deuren of de buitenste zijkanten van de stoelen (zij-airbags) en in de dakrand (gordijn-airbags) hebben een belangrijke functie wanneer de auto van opzij wordt aangereden of zijdelings een boom of ander verticaal obstakel raakt. Een Australische ongevallenstudie vond dat de kans op een dodelijke afloop of letsel aan hoofd, nek, gezicht, borst en buik 48% lager lag bij auto's uitgerust met zowel zij-

airbags als gordijn-airbags [19]. Bij auto's uitgerust met enkel zij-airbags werd geen significant veiligheidseffect gevonden. Knie-airbags bevinden zich onder het stuur (voor de bestuurder) of onder het handschoenenvak (voor de bijrijder) en zijn bedoeld om letsel aan de knieën, dijbenen en heupen te voorkomen bij een frontale aanrijding. Een ongevallenstudie laat een significante verbetering van de veiligheid zien met betrekking tot AIS2+ knie- en heupletsel [65]. Gordelairbags, tot slot, bieden bescherming voor achterbankpassagiers door een koudgasreservoir gemonteerd in de veiligheidsgordels. Deze zogeheten 'inflatable belt airbags' bestrijken een lichaamsoppervlak dat minimaal vijf keer zo groot is als bij een gewone gordel, zodat de krachten op het lichaam van de passagier beter kunnen worden opgevangen, verwondingen door de gordel worden verminderd of voorkomen en de passagier beter op zijn plaats wordt gehouden. Onderzoeken die het veiligheidseffect van gordel-airbags kwantificeren, zijn nog niet voorhanden.

Ongewenste neveneffecten

Naast positieve veiligheidseffecten, hebben diverse studies ook ongewenste neveneffecten van airbags gerapporteerd. Bijvoorbeeld voor baby's die op de passagiersstoel worden vervoerd. Indien de airbag is ingeschakeld, kan de afloop van een (frontale) aanrijding fataal voor het kind zijn, omdat het zitje met kind en al door de airbag met kracht naar achteren wordt geworpen. Daarom mag een achterwaarts kinderzitje alleen op een stoel worden geplaatst als de airbag is uitgeschakeld en moeten auto's met een of meer airbags op de passagiersplaats voorin wettelijk voorzien zijn van een waarschuwingssticker.

De eerste generatie front-airbags bleek een verhoogd risico te hebben op hersenletsel en nekletsel bij kinderen, kleine vrouwen en inzittenden die niet in de rijrichting zaten op het moment van het ongeval [66]. Na het invoeren van richtlijnen voor de kracht waarmee front-airbags uitvouwen, is in de Verenigde Staten een afname geconstateerd van doden als gevolg van front-airbags [67]. Hallman et al. [66] laten op basis van een dieptestudie en crashtests zien dat zij-airbags, gesitueerd in de stoel ter hoogte van de milt, bij uitvouwen kunnen resulteren in milt-letsel. Funk et al. [68] beschrijven een ongewenst neveneffect van gordijn-airbags: hoewel de kans af lijkt te nemen dat bestuurders via het zijraam worden uitgeworpen, lijkt er tevens een grotere kans te bestaan dat bestuurders via het dakraam worden uitgeworpen, als de auto een dakraam heeft.

12 Wat is het veiligheidseffect van hoofdsteunen?

Hoofdsteunen zijn bedoeld om nekletsel (zoals whiplash) te voorkomen of te reduceren bij een kop-staartbotsing. Een Amerikaanse studie op basis van verzekeringsgegevens laat zien dat bij auto's waarvan de stoel en hoofdsteun goed konden worden ingesteld op de lengte van de voorinzittende, de kans op nekletsel bij een kop-staartbotsing 11% kleiner was dan bij auto's waarvan de stoel en hoofsteun niet goed konden worden ingesteld [69]. Op basis van de letselschadeclaims kan geen uitspraak worden gedaan over letselernst.

De bovenkant van de hoofdsteun moet in ieder geval tot boven het oor komen om nekletsel te voorkomen of te reduceren. De horizontale afstand tussen het hoofd en de hoofdsteun moet zo

klein mogelijk zijn, maar in ieder geval niet groter dan tien centimeter [70]. Aan deze criteria kan, afhankelijk van de lichaamslengte, worden voldaan door het juist instellen van de hoek van de stoel en, indien verstelbaar, het juist instellen van de hoek en hoogte van de hoofdsteun. In een steekproef onder ruim 1000 voorinzittenden bleek dat de hoofdsteun bij 26% van de bestuurders en 48% van de passagiers op de juiste minimale hoogte stond [70]. Een Amerikaanse observatiestudie vond dat de hoofdsteun zich bij slechts 10% van de bestuurders op de minimaal benodigde hoogte bevond om nekletsel te reduceren [71]. Op basis van crashtesten met dummy's schatten Viano en Gargan [71] in dat de suboptimale hoogte van de hoofdsteun een ruim drie keer zo groot risico op nekletsel levert ten opzichte van de optimale hoogte van de hoofdsteun.

In Europa zijn nieuwe personenauto's sinds 1997 verplicht uitgerust met hoofdsteunen voorin. Indien er hoofdsteunen achterin aanwezig zijn, moeten ze voldoen aan de eisen opgenomen in de UN/ECE-voertuigrichtlijnen 17 en 25.

13 Wat is het veiligheidseffect van winterbanden?

Er is geen duidelijk bewijs voor het verkeersveiligheidseffect van winterbanden. Er wordt wel gesteld dat winderbanden vanaf 7 graden Celsius (en lager) veiliger zijn dan zomerbanden: de winterbanden zouden zorgen voor betere grip en een kortere remweg. Er zijn echter nauwelijks ongevallenstudies naar het verkeersveiligheidseffect van winterbanden ten opzichte van zomerbanden. De ongevallenstudies die er zijn, beperken zich tot een vergelijking tussen winterbanden met en zonder metalen studs. Daarnaast wordt er in deze studies gebruikgemaakt van ongevallencijfers uit landen als Zweden [72] en Finland [73], waar de winterse omstandigheden niet vergelijkbaar zijn met die in Nederland.

Ook bandentests bieden weinig duidelijkheid. In deze tests worden doorgaans banden van verschillende merken, maar wel voor hetzelfde weertype, met elkaar vergeleken (zie bijvoorbeeld de zomer- en winterbandentests van de ANWB). Een uitzondering hierop is de bandentest van TSC (de Zwitserse zusterclub van de ANWB) uit 2009 [74], waarin zomer-, winter- en all-seasonbanden in verschillende condities met elkaar werden vergeleken. Uit de resultaten (zie *Tabel 4*) bleek dat de verschillen vooral groot waren op sneeuw en droog wegdek: op sneeuw hadden de winterbanden een duidelijk kortere remweg dan de zomerbanden, terwijl de zomerbanden op droog wegdek juist een kortere remweg hadden dan de winterbanden. Op nat wegdek was de prestatie afhankelijk van de temperatuur en waren de verschillen tussen de banden minder groot. De resultaten dienen echter voorzichtig geïnterpreteerd te worden. Zo is bijvoorbeeld niet duidelijk hoe de testen precies zijn uitgevoerd en of de geteste banden van vergelijkbare kwaliteit waren. De resultaten zijn bovendien lastig te vertalen naar de Nederlandse situatie, omdat er in Nederland doorgaans maar weinig sneeuw valt. Om een inschatting te kunnen maken van het verkeersveiligheidseffect van winterbanden in Nederland, is daarom meer onderzoek nodig.

Het gebruik van winterbanden is in Nederland niet verplicht. In andere landen, bijvoorbeeld in Duitsland, zijn winterbanden in sommige delen van het jaar, omstandigheden en/of op bepaalde wegen wel verplicht. Meer informatie over de regels in het buitenland staat onder andere op de website van de ANWB [75].

Tabel 4. Prestaties van zomer-, winter- en all-seasonbanden in verschillende condities (aangepast overgenomen uit [74])

Testcriteria	Test-omstandigheden	Zomerbanden	Winterbanden	All-seasonbanden
Remweg droog	100 – 0 km/uur	38 m	51 m	49 m
	Ca. 10°C	38 m	56 m	52 m
Remweg nat	100 – 0 km/uur	43 m	40 m	44 m
	Ca. 20 – 25°C	40 m	45 m	47 m
Remweg sneeuw	80 – 0 km/uur	61 m	29 m	42 m
Brandstofverbruik	Ca. 10°C	7,5	7,6	7,9
Slijtage	80 – 0 km/uur	105%	100%	115%
	Ca. 20 – 25°C	100%	115%	110%

14 Wat is het veiligheidseffect van een antiblokkeersysteem (ABS)?

Een antiblokkeersysteem (ABS) voorkomt dat de wielen bij het remmen blokkeren, waardoor het voertuig stabieler op de weg ligt en bestuurbaar blijft. Uit reviews van ongevallenstudies [12] [76] blijkt dat de aanwezigheid van ABS aan de ene kant gepaard gaat met een significante afname van meervoudige ongevallen op nat of slecht wegdek, ongevallen met afslaande voertuigen, en ongevallen met voetgangers, fietsers en dieren. Aan de andere kant gaat de aanwezigheid van ABS gepaard met een significante toename van enkelvoudige ongevallen (waaronder omrollen en botsen tegen een vast object). Wanneer we naar de afloop van die ongevallen kijken, is het netto effect van ABS op de verkeersveiligheid volgens Elvik et al. [12] een afname van ongevallen met letsel (-1%), maar een toename van ongevallen met dodelijk letsel (+6%).

Voor de toename van enkelvoudige ongevallen door ABS is nog geen sluitende verklaring gevonden. Burton et al. [29] noemen twee principes die mogelijk een rol spelen: gedragsadaptatie en overmatig sturen bij het voorkomen van een aanrijding. Zo vond een Duitse ongevallenstudie een indicatie van gedragsadaptatie: bij auto's met ABS werd een hogere rijsnelheid en agressiever rijgedrag geconstateerd [77]. Een Amerikaanse studie op basis van snelheidsmetingen in het dagelijkse verkeer vond echter geen hogere rijsnelheid bij voertuigen met ABS [78]. Wanneer er tijdens het remmen ook hard gestuurd wordt, bestaat het risico dat het voertuig, met de extra grip door ABS, omrolt. Dit risico lijkt te zijn verminderd door de invoering van elektronische stabiliteitscontrole (ESC); een systeem dat voortbouwt op ABS (zie ook de vraag *Wat is het veiligheidseffect van elektronische stabiliteitscontrole (ESC)?*).

In Europa zijn personenauto's niet verplicht uitgerust met ABS. Is ABS echter geïmplementeerd, dan gelden de voertuigrichtlijnen beschreven in UN/ECE 13H. Mede door de ontwikkeling en verplichtstelling van elektronische stabiliteitscontrole (ESC), dat gebruikmaakt van ABS-techniek, is ABS indirect alsnog verplicht voor nieuwe personenauto's.

15 Wat is het veiligheidseffect van elektronische stabiliteitscontrole (ESC)?

Het veiligheidssysteem elektronische stabiliteitscontrole (ESC) is bedoeld om het voertuig stabiel op de weg te houden en daarbij slippen te voorkomen. ESC vergelijkt de stuurbeweging met de werkelijke beweging van het voertuig. Wanneer deze bewegingen afwijken, bijvoorbeeld bij slippen, kan ESC individuele wielen afremmen. Daarmee voorkomt het dat een voertuig gaat slippen of bij hoge snelheid in een bocht gaat over- of ondersturen en daardoor onbestuurbaar wordt en eventueel in de berm raakt. Bij het in de berm raken zou het voertuig vervolgens over de kop kunnen gaan. Doordat ESC in veel gevallen voorkomt dat een voertuig in de berm raakt, wordt daarmee ook voorkomen dat het over de kop gaat en dat de inzittenden letsel oplopen. Een beschouwing van vijftien internationale studies laat zien dat de kans op een dodelijke afloop van een enkelvoudig ongeval 30% tot 50% kleiner is bij reguliere personenauto's met ESC ten opzichte van reguliere personenauto's zonder ESC. Bij SUV's is de kans op een dodelijk afloop 50% tot 70% kleiner. De kans op een dodelijk afloop bij over de kop slaan is 70% tot 90% kleiner, ongeacht het type personenauto [20]. Erke [79] vond op basis van een beschouwing van acht internationale studies dat de aanwezigheid van ESC samengaat met een afname van enkelvoudige ongevallen (-49%), frontale botsingen (-13%) en dodelijke ongevallen met meer dan twee partijen (-32%).

In Europa zijn nieuwe personenauto's door richtlijn EC 661/2009 [26] sinds 2014 verplicht uitgerust met ESC. Door deze verplichtstelling heeft ESC volgens een schatting van Christoph [80] een penetratie bereikt van 57% van de Nederlandse personenauto's in 2020 en 78% in 2030.

16 Wat is het veiligheidseffect van kinderzitjes?

Het gebruik van kinderbeveiligingsmiddelen [5] vermindert de kans op ernstig en dodelijk letsel bij kinderen. De omvang van de veiligheidswinst verschilt wel sterk per studie, doelgroep en type kinderbeveiligingsmiddel. Arbogast et al. [81] vonden voor kinderen van 1-4 jaar een 78% lagere kans op ernstig letsel bij een ongeval wanneer er kinderbeveiligingsmiddelen (ongeacht het type) werden gebruikt ten opzichte van enkel het dragen van de (reguliere) autogordel. Specifiek voor kinderzitjes laten Zaloshnja, Miller & Hendrie [14] een 81% lagere kans op ernstig letsel zien voor kinderen van 2 tot 3 jaar oud die betrokken zijn bij een ongeval. Elliot et al. [13] laten een 28% lagere kans op een dodelijke afloop zien voor kinderen tussen 2 en 6 jaar oud.

Voor kinderen die het kinderzitje zijn ontgroeid, zijn er zittingverhogers. Deze zorgen ervoor dat het schouderdeel van de driepuntsgordel goed over de schouder van het kind loopt en, nog belangrijker, dat het heupgedeelte over het bekken loopt en niet over de buik, waar het de weke delen in de buikholte kan beschadigen [82]. Uit een beschouwing van elf internationale studies

5 Hier wordt gekozen voor de verzamelterm 'kinderbeveiligingsmiddelen', onderverdeeld in babyzitjes, kinderzitjes en zittingverhogers ('booster seats'). In andere publicaties, zoals van de overheid of fabrikanten, worden verschillende verzameltermen gebruikt, zoals 'kinderbeveiligingssystemen', 'kinderzitjes', 'autostoeltjes' of 'autokinderstoeltjes' en worden ook voor de subgroepen andere benamingen gebruikt. In de praktijk is doorgaans wel duidelijk wat er bedoeld wordt, zeker als wordt vermeld voor welke groep een kinderbeveiligingsmiddel bestemd is.

op basis van ongevallencijfers komt naar voren dat het gebruik van een zittingverhoger als aanvulling op het dragen van gordels wisselend effectief is [15]. In sommige studies werden zittingverhogers geassocieerd met significant minder ernstig gewonden, terwijl er in andere studies geen significant effect werd gevonden op het aantal dodelijke slachtoffers of ernstig gewonden. In een studie werden zittingverhogers geassocieerd met een toename van ernstig gewonden.

In 2003 is op Europees niveau [6] geregeld dat kinderen kleiner dan 1,35 meter of 1,50 meter een kinderbeveiligingsmiddel moeten gebruiken, zowel voor als achter in de auto. Of het 1,35 meter of 1,50 meter is, wordt overgelaten aan de lidstaten. Zo houdt Nederland 1,35 meter aan, Duitsland 1,50 meter. Uit onderzoek (in 2018) van VeiligheidNL onder 470 kinderen van 0-8 jaar bleek dat 83% van de kinderen niet op de juiste manier vervoerd werd in de auto: dat wil zeggen ze zaten niet goed vast in een kinderzitje of ze zaten helemaal niet in een kinderzitje terwijl ze kleiner waren dan 1,35 meter [83]. Van de gebruikte kinderzitjes had 7% niet de goede maat (te groot of te klein) en was 49% niet juist bevestigd. 59% van de kinderen zat niet goed in het kinderzitje vast. Het niet goed vastzitten in een kinderzitje kan de effectiviteit van het kinderzitje verminderen en daardoor tot een verhoogd risico op letsel leiden bij een ongeval ten opzichte van wel goed vastzitten [13] [84] [85] [86]. Uit een Belgisch onderzoek bleek bijvoorbeeld dat bij een derde van de kinderen die in een beveiligingssysteem werden vervoerd, de effectiviteit van het systeem ernstig verminderd of zelfs geheel verdwenen was [84].

17 Wat is het veiligheidseffect van een voetgangersvriendelijk autofront?

De effecten in termen van ongevallen of letselernst zijn niet bekend, maar op basis van simulatieonderzoek en botsproeven wordt geschat dat een pop-upmotorkap en voetgangers-/fietsersairbags een aanzienlijke veiligheidswinst kunnen behalen.

Het hoofd van een voetganger of fietser is een van de kwetsbaarste lichaamsdelen bij een frontale aanrijding met een auto. Een pop-upmotorkap (‘Active Hood Lifting System’) is noodzakelijk indien er in het voertuigdesign niet voldoende vervormingsruimte kan worden gecreëerd tussen de motorkap en de harde delen eronder. Een pop-upmotorkap komt zo’n 10 centimeter omhoog zodra er aan de voorzijde van het voertuig een botsing met een voetganger wordt geregistreerd (doorgaans tegen de benen). Tegen de tijd dat het hoofd in aanraking komt met de omhooggekomen motorkap, zal de impact op het hoofd kleiner zijn. Dit komt doordat de motorkap nu verder kan indeuken, waarbij een groter deel van de kinetische energie wordt geabsorbeerd ten opzichte van een motorkap die vlak over het veel stijvere motorblok ligt. Een simulatiestudie op basis van 101 dodelijke voetganger-auto-ongevallen vond een reductie van 33-84 doden wanneer de auto in een simulatie werd uitgerust met een pop-upmotorkap [87].

Voetgangersairbags bieden een aanvullende manier om het hoofd van voetgangers te beschermen tegen de gevolgen van een botsing met A-stijlen, de dakrand, of de voorruit van een auto. Een serie botstesten, gebaseerd op 68 voetganger-auto-ongevallen met ernstig hoofdletsel, liet zien dat de kans op ernstig hoofdletsel tussen de 31% en 94% afnam [88]. Deze effectiviteit was afhankelijk van het airbagtype, de botssnelheid en de locatie waar het hoofd van de

6 Richtlijn 2003/20/EG tot wijziging van richtlijn 91/671/EEG, in Nederland van kracht geworden op 1 maart 2006.

voetganger tegen de auto kwam. Een simulatiestudie suggereert dat voetgangersairbags ook het hoofd van fietsers kunnen beschermen, waarbij een 75% lagere maximale kracht op het hoofd van de virtuele fietser werd gerapporteerd [89]. Een voorwaarde hierbij is wel dat het systeem van de 'fietsersairbag' ook fietsers herkent en dat deze airbag qua plaatsing ook overeenkomt met de – ten opzichte van voetgangers – relatief hoge locatie waar fietsers met het hoofd tegen de auto komen.

De pop-up motorkap en voetgangersairbag zijn niet verplicht aanwezig, maar kunnen bijdragen aan het behalen van criteria voor impact met het hoofd zoals beschreven in UN/ECE-richtlijn 127 [90] en worden wel meegenomen in de beoordeling van veiligheid in Euro-NCAP-tests. Hierdoor worden autofabrikanten gestimuleerd om dergelijke systemen in hun auto's te integreren (zie ook de vraag *Hoe draagt Euro NCAP bij aan verkeersveiligheid?*).

18 Hoe draagt de algemene periodieke keuring (APK) van voertuigen bij aan verkeersveiligheid?

De APK moet het aandeel auto's dat met technische gebreken onderweg is, en daarmee het aandeel ongevallen dat door deze gebreken wordt veroorzaakt, verminderen. Er is weinig bekend over het effect van periodieke keuringen op de verkeersveiligheid. Hoewel er schattingen zijn van het aandeel auto-ongevallen waarbij technische gebreken een rol spelen (0,5 tot 24%; [91]), is het effect van periodieke keuringen niet onderzocht.

Tijdens de APK wordt de technische staat van de auto gecontroleerd. Het zwaartepunt van de controle ligt bij verkeersveiligheidsaspecten, zoals een goede werking van de verlichting, remmen, stuurinrichting en banden [6]. Daarnaast wordt gecontroleerd of de milieuverontreiniging door emissies van uitlaatgassen binnen de grenswaarden valt. In het digitale APK-handboek voor personenauto's staat meer informatie over de te controleren onderdelen.

Wanneer een auto gekeurd moet worden, is in Nederland onder andere afhankelijk van de brandstofsoort. Auto's die op benzine, alcohol of elektriciteit rijden worden bijvoorbeeld vier jaar na de toelatingsdatum voor het eerst gekeurd. De volgende twee keuringen vinden na twee jaar plaats. Vanaf een leeftijd van acht jaar dient de auto jaarlijks gekeurd te worden (4-2-2-1-schema). Auto's die (gedeeltelijk) op een andere brandstof rijden, worden al na drie jaar en vervolgens jaarlijks gekeurd (3-1-1-schema). Auto's van 30 tot 50 jaar worden om het jaar gekeurd (2-2-2 schema) [92]. Auto's van 50 jaar en ouder zijn vanaf 2021 vrijgesteld van de APK-plicht [93].

19 Hoe draagt Euro NCAP bij aan verkeersveiligheid?

Het *European New Car Assessment Programme* (Euro NCAP) heeft als doel om de veiligheid van auto's voor zowel consumenten als bedrijven inzichtelijk te maken. Hiervoor worden sinds 1997 de meest gangbare nieuwe automodellen aan verschillende testen onderworpen en worden de resultaten uitgedrukt in een score tussen de 0 en 5 sterren: hoe meer sterren, hoe veiliger de auto. Auto's die alleen voldoen aan de toelatingseisen (zie ook de vraag *Aan welke eisen moeten auto's en hun bestuurders voldoen?*) krijgen geen ster. De testresultaten zijn voor iedereen toegankelijk; dit kan autofabrikanten stimuleren om veiligere auto's te produceren.

Het beoordelingssysteem van Euro NCAP maakt onderscheid naar verschillende klassen auto's, zoals grote gezinsauto's, kleine gezinsauto's en supermini's. Auto's worden binnen hun eigen klasse met elkaar vergeleken. Sinds 2009 wordt het beoordelingssysteem opgedeeld in vier categorieën: inzittende volwassenen, inzittende kinderen, kwetsbare weggebruikers en safety assist. Elke categorie bevat verschillende beoordelingscriteria (zie *Tabel 5*). Deze criteria worden regelmatig aangepast aan de nieuwste inzichten en regelgeving. Zo wordt er bijvoorbeeld niet meer getest op elektronische stabiliteitscontrole (ESC) omdat dit systeem sinds 2014 verplicht in nieuwe auto's aanwezig moet zijn, en is in 2020 het onderdeel *redding en bevrijding* aan de beoordeling toegevoegd.

Tabel 5. Beoordelingscriteria Euro NCAP (januari 2021).

Inzittende volwassenen	Inzittende kinderen	Kwetsbare weggebruikers	Safety assist
› Frontale aanrijding › Zijdelingse aanrijding › Aanrijding van achteren › Redding en bevrijding	› Bescherming kinderzitje (bij een frontale of zijdelingse aanrijding) › Voorzieningen auto › Montagetest kinderzitjes	› Impact op het hoofd › Impact op de bovenbenen › Impact op de onderbenen › AEB voetganger › AEB fietser	› AEB car-to-car › Bewaking van de status van de inzittenden › Snelheidsassistentie › Lane support

Verschillende onderzoeken hebben correlaties gevonden tussen de Euro-NCAP-scores en het letselrisico voor inzittenden. Uit de analyse van auto-auto-ongevallen blijkt dat er minder slachtoffers met fataal of ernstig letsel vielen in auto's met veel sterren, dan in auto's met weinig sterren [9] [94] [95]. Daarnaast bleek uit analyses van auto-voetganger-ongevallen dat er een correlatie is tussen de Euro-NCAP-voetgangersscore (tegenwoordig uitgebreid naar kwetsbare weggebruikers) en het letselrisico voor voetgangers. Ook hier presteren auto's met een hogere score beter [96] [97].

Het netto verkeersveiligheidseffect van Euro NCAP blijft echter lastig te kwantificeren. Dit komt onder andere doordat er nauwelijks gegevens zijn over de verdeling van de Euro-NCAP-scores over het Europese of Nederlandse wagenpark. Hoewel een steeds groter deel van de geteste auto's een hoge score behaalt, bedroeg in 2013 het aandeel nieuwe auto's met een 5-sterrenscore 2,5% van het Europese wagenpark en ongeveer 3% van het Nederlandse wagenpark [98]. Daarnaast zijn in de laatste decennia alle personenauto's veiliger geworden en is het niet mogelijk om scores van auto's in verschillende klassen met elkaar te vergelijken.

20 Welke maatregelen zijn er verder mogelijk om de veiligheid van auto's te verbeteren?

Maatregelen om de veiligheid van personenauto's verder te vergroten, liggen vooral op het terrein van Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) en intelligente transportsystemen (ITS), zoals Intelligent Speed Adaptation (ISA), (Cooperative) Adaptive Cruise Control (C-ACC) en Lane Departure Warning (LDW) (zie de SWOV-factsheet *Intelligente transport- en rijhulpsystemen (ITS en ADAS)*).

De Europese Commissie heeft in 2018 voorgesteld om nieuwe auto's vanaf 2022 verplicht te voorzien van nieuwe veiligheidssystemen, zoals een Intelligente Snelheid Assistent (ISA) en ondersteuning van een alcoholslot [99]. Deze voorzieningen zijn nog wel erg vrijblijvend. Zo is de ondersteuning voor het alcoholslot nog geen garantie dat een alcoholslot ook vaker geïnstalleerd wordt. Het opleggen van een alcoholslot wordt aan de lidstaten overgelaten en in Nederland is besloten dat andere maatregelen de voorkeur verdienen boven het alcoholslot ([100]; zie ook de factsheet *Rijden onder invloed van alcohol*). Van de ISA die de EC voorstelt, zijn de gedetailleerde technische eisen nog onderwerp van discussie [101]. Op dit moment lijkt men af te stevenen op een adviserende variant als minimale eis: een bestuurder krijgt een signaal wanneer hij de snelheid overschrijdt. Deze variant is aanzienlijk minder effectief dan een dwingende variant (zie de factsheet *Snelheid en snelheidsmanagement*). Voor de verkeersveiligheid zou het invoeren van een dwingende variant de grootste impact hebben. Eventueel lokaal: bijvoorbeeld in 30 km/uur-gebieden of rond scholen.

Daarnaast is er mogelijk veiligheidswinst te behalen bij de vormgeving van auto's. Crashtestdummy's bij botsproeven representeren namelijk doorgaans de gemiddelde man. Hierdoor zijn bijvoorbeeld gordels en airbags niet afgestemd op mensen die niet tot deze groep behoren. Er zijn aanwijzingen dat mensen die qua leeftijd, gewicht of geslacht afwijken van de gemiddelde man, tijdens een ongeval een grotere kans op zwaar of dodelijk letsel hebben [102]. Binnen het project VIRTUAL wordt in Europees verband gewerkt aan meer diverse 'open source human body models'. Met dergelijke modellen valt beter te evalueren in hoeverre de veiligheidsvoorzieningen van personenauto's afgestemd kunnen worden op een verscheidenheid aan inzittenden.

Als laatste zou de overheid kunnen overwegen om de aanschaf van veiligere auto's te stimuleren met belastingvoordeel [103]. Op dit moment stimuleert de Nederlandse overheid bijvoorbeeld de aanschaf van schone en zuinige auto's. Een dergelijke constructie voor auto's met betere veiligheidssystemen kan de verkeersveiligheid verbeteren. Echter, gezien de gemiddelde leeftijd van het Nederlandse wagenpark (zie ook de vraag *Wat is de leeftijd van het Nederlandse wagenpark?*), duurt het dan nog steeds jaren voordat een groot deel van de auto's uitgerust is met nieuwe veiligheidsvoorzieningen. Om sneller van deze veiligheidswinst te profiteren is ook het stimuleren van retro-fit (het inbouwen van systemen in bestaande voertuigen) te overwegen.

Publicaties en bronnen

Hieronder vindt u de lijst met referenties uit deze factsheet; alle bronnen zijn in te zien of op te vragen. Via Publicaties vindt u, naast de hier gebruikte bronnen, nog een uitgebreide collectie aan literatuur op het gebied van verkeersveiligheid.

[1]. CBS Statline (2020). *Verkeersprestaties personenauto's; kilometers, brandstofsoort, grondgebied*. CBS. Geraadpleegd 28-06-2021 op https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/80428ned/table?dl=4656F.

[2]. CBS (2020). *Verkeersprestaties motorvoertuigen; kilometers, voertuigsoort, grondgebied*. CBS. Geraadpleegd 19-11-2020 op https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80302ned/table?fromstatweb.

[3]. Overheid.nl (2021). *Regeling voertuigen. Regeling tot uitvoering de hoofdstukken III en VI van de Wegenverkeerswet 1994 (Regeling voertuigen)*. De Minister van Verkeer en Waterstaat. Geraadpleegd 18-08-2021 op https://wetten.overheid.nl/BWBR0025798/2021-01-21.

[4]. European Parliament (2018). *Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, amending Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 and repealing Directive 2007/46/EC (Text with EEA relevance.)*. Document 32018R0858. Official Journal of the European Union, Brussels.

[5]. European Parliament (2019). *Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users, amending Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulations (EC) No 78/2009, (EC) No 79/2009 and (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulations (EC) No 631/2009, (EU) No 406/2010, (EU) No 672/2010, (EU) No 1003/2010, (EU) No 1005/2010, (EU) No 1008/2010, (EU) No 1009/2010, (EU) No 19/2011, (EU) No 109/2011, (EU) No 458/2011, (EU) No 65/2012, (EU) No 130/2012, (EU) No 347/2012, (EU) No 351/2012, (EU) No 1230/2012 and (EU) 2015/166 (Text with EEA relevance)*. Document 32019R2144. Official Journal of the European Union, Brussels.

[6]. RDW (2021). *APK*. RDW. Geraadpleegd 11-06-2021 op https://www.rdw.nl/particulier/voertuigen/auto/apk.

[7]. European Parliament (2014). *Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers and repealing Directive 2009/40/EC Text with EEA relevance*. Document 32014L0045. Official Journal of the European Union, Brussels.

[8]. Kampen, B. van, Krop, W. & Schoon, C. (2005). *Auto's om veilig mee huis te komen*. SWOV & RAI Vereniging, Leidschendam.

[9]. Kullgren, A., Axelsson, A., Stigson, H. & Ydenius, A. (2019). *Developments in car crash safety and comparisons between results from EuroNCAP tests and real-world crashes*. In: 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). June 10-13, 2019, Eindhoven, the Netherlands.

[10]. Vlakveld, W. (2019). *Veiligheidseffecten van rijtaakondersteunende systemen*. Bijlage bij het convenant van de ADAS Alliantie. R-2019-14. SWOV, Den Haag.

[11]. Høye, A. (2016). *How would increasing seat belt use affect the number of killed or seriously injured light vehicle occupants?* In: Accident Analysis & Prevention, vol. 88, p. 175-186.

[12]. Elvik, R., Høye, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*. Second edition. Emerald, UK.

[13]. Elliott, M.R., Kallan, M.J., Durbin, D.R. & Winston, F.K. (2006). *Effectiveness of child safety seats vs seat belts in reducing risk for death in children in passenger vehicle crashes. In: Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, vol. 160, nr. 6, p. 617-621.*

[14]. Zaloshnja, E., Miller, T.R. & Hendrie, D. (2007). *Effectiveness of child safety seats vs safety belts for children aged 2 to 3 years*. In: Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, vol. 161, nr. 1, p. 65-68.

[15]. Asbridge, M., Ogilvie, R., Wilson, M. & Hayden, J. (2018). *The impact of booster seat use on child injury and mortality: Systematic review and meta-analysis of observational studies of booster seat effectiveness*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 119, p. 50-57.

[16]. EuroNCAP (2021). *Side Pole*. EuroNCAP. Geraadpleegd 11-06-2021 op https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/lateral-impact/side-pole/.

[17]. Glassbrenner, D. & Starnes, M. (2009). *Lives saved calculations for seat belts and frontal air bags*. NHTSA Technical Report DOT HS 811 206.

[18]. Høye, A. (2010). *Are airbags a dangerous safety measure? A meta-analysis of the effects of frontal airbags on driver fatalities*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 42, nr. 6, p. 2030-2040.

[19]. D'Elia, A., Newstead, S. & Scully, J. (2013). *Evaluation of vehicle side airbag effectiveness in Victoria, Australia*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 54, p. 67-72.

[20]. Ferguson, S.A. (2007). *The effectiveness of electronic stability control in reducing real-world crashes: A literature review*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 8, nr. 4, p. 329-338.

[21]. Fildes, B., Keall, M., Bos, N., Lie, A., et al. (2015). *Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 81, p. 24-29.

[22]. Cicchino, J.B. (2017). *Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 99, p. 142-152.

[23]. Douglas, J.W. & Schafer, T.C. (1971). *The Chrysler "Sure-Brake" – The first production four-wheel anti-skid system*. In: SAE Transactions, vol. 80, p. 999-1008.

[24]. Ministerie van VenW (1992). *Besluit van 14 februari 1992, houdende wijziging van het Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990*. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, stb-1992-100. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

[25]. EC (1996). *Commission Directive 96/37/EC of 17 June 1996 adapting to technical progress Council Directive 74/408/EEC relating to the interior fittings of motor vehicles (strength of seats and of their anchorages)*. Document 31996L0037. European Commission, Brussels.

[26]. European Parliament (2009). *Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning type-approval requirements for the general safety of motor vehicles, their trailers and systems, components and separate technical units intended therefor (Text with EEA relevance)*. Document 32009R0661. Official Journal of the European Union.

[27]. UNECE (2021). *UN Regulations (Addenda to the 1958 Agreement)*. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geraadpleegd 20-12-2021 op https://unece.org/un-regulations-addenda-1958-agreement.

[28]. Cummings, P. & Grossman, D.C. (2007). *Antilock brakes and the risk of driver injury in a crash: A case–control study*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 39, nr. 5, p. 995-1000.

[29]. Burton, D., Delaney, A., Newstead, S., Logan, S., et al. (2004). *Evaluation of anti-lock braking systems effectiveness*. Report 04/01. Royal Automobile Club of Victoria Ltd, Australia.

[30]. EuroNCAP (2021). *Head impact*. EuroNCAP. Geraadpleegd 14-06-2021 op https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/head-impact/.

[31]. European Parliament (2019). *Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC (Text with EEA relevance)*. Document 02014R0540-20190527.

[32]. Lewin, T. (2005). *Autoliv designs pop-up hood for Jaguar XK*. Automotive News Europe. Geraadpleegd 15-06-2021 op https://europe.autonews.com/article/20050905/ANE/509050820/autoliv-designs-pop-up-hood-for-jaguar-xk.

[33]. Jakobsson, L., Broberg, T., Karlsson, H., Fredriksson, A., et al. (2013). *Pedestrian airbag technology – A production system*. In: 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). May 27-30, 2013, Seoul, South Korea.

[34]. Konet, H., Sato, M., Schiller, T., Christensen, A., et al. (2011). *Development of Approaching Vehicle Sound for Pedestrians (VSP) for Quiet Electric Vehicles*. In: SAE International Journal of Engines, vol. 4, nr. 1, p. 1217-1224.

[35]. EC (2019). *Road safety: Commission welcomes agreement on new EU rules to help save lives*. Press release. European Commission,, Brussels.

[36]. CBS (2020). *Motorvoertuigenpark; type, leeftijdsklasse, 1 januari. CBS*. Geraadpleegd 11-06-2021 op https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82044NED/table?dl=4E048.

[37]. 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*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 6, p. 1987-1995.

[38]. Monfort, S.S. & Nolan, J.M. (2019). *Trends in aggressivity and driver risk for cars, SUVs, and pickups: Vehicle incompatibility from 1989 to 2016*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 20, nr. sup1, p. S92-S96.

[39]. Schipper, L. (2011). *Automobile use, fuel economy and CO2 emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?* In: Transport Policy, vol. 18, nr. 2, p. 358-372.

[40]. Hoogvelt, R.B.J., Vries, Y.W.R. de, Margarites, D., Tillaart, E. van den, et al. (2004). *Impact of sport utility vehicles on traffic safety and the environment in The Netherlands*. Report 04.OR.SA.065.1/RH. TNO Automotive, Delft, The Netherlands.

[41]. Baker, B.C., Nolan, J.M., O'Neill, B. & Genetos, A.P. (2008). *Crash compatibility between cars and light trucks: Benefits of lowering front-end energy-absorbing structure in SUVs and pickups*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 1, p. 116-125.

[42]. Ossiander, E.M., Koepsell, T.D. & McKnight, B. (2013). *Will the light truck bumper height-matching standard reduce deaths in cars?* In: Accident Analysis & Prevention, vol. 51, p. 292-300.

[43]. Ashmead, D.H., Grantham, D.W., Maloff, E.S., Hornsby, B., et al. (2012). *Auditory perception of motor vehicle travel paths*. In: Human Factors, vol. 54, nr. 3, p. 437-453.

[44]. Barton, B.K., Ulrich, T.A. & Lew, R. (2012). *Auditory detection and localization of approaching vehicles*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 49, p. 347-353.

[45]. Mori, Y. & Mizohata, M. (1995). *Characteristics of older road users and their effect on road safety*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 27, nr. 3, p. 391-404.

46]. Stelling-Konczak, A., Hagenzieker, M. & Wee, G.P. van (2015). *Traffic sounds and cycling safety: The use of electronic devices by cyclists and the quietness of hybrid and electric cars*. In: Transport Reviews, vol. 35, nr. 4, p. 422-444.

[47]. European Parliament (2017). *Commission Delegated Regulation (EU) 2017/1576 of 26 June 2017 amending Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council as regards the Acoustic Vehicle Alerting System requirements for vehicle EU-type approval (Text with EEA relevance)*. Document 32017R1576. Official Journal of the European Union, Brussels.

[48]. Fleury, S., Jamet, É., Roussarie, V., Bosc, L., et al. (2016). *Effect of additional warning sounds on pedestrians' detection of electric vehicles: An ecological approach*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 97, p. 176-185.

[49]. González-Hernández, J.M., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N., Poveda-Martínez, P., et al. (2017). *Assessment of warning sound detectability for electric vehicles by outdoor tests*. In: European Acoustics Association (EAA).

[50]. Tsuruta-Hamamura, M., Kobayashi, T., Kosuge, T., Tsujinaga, T., et al. (2019). *Design of approach informing sound for quiet vehicles that indicates a car traveling*. In: INTER-NOISE. June 16-19, 2019, Madrid, Spain.

[51]. Sun, P., Bisschop, R., Niu, H. & Huang, X. (2020). *A review of battery fires in electric vehicles*. In: Fire Technology, vol. 56, nr. 4, p. 1361-1410.

[52]. Berends, E.M. (2009). *De invloed van automassa op het letselrisico bij botsingen tussen twee personenauto's. Een kwantitatieve analyse*. R-2009-5. SWOV, Leidschendam.

[53]. Fouda Mbarga, N., Abubakari, A.-R., Aminde, L.N. & Morgan, A.R. (2018). *Seatbelt use and risk of major injuries sustained by vehicle occupants during motor-vehicle crashes: a systematic review and meta-analysis of cohort studies*. In: BMC Public Health, vol. 18, nr. 1, p. 1413.

[54]. Ekambaram, K., Frampton, R. & Lenard, J. (2019). *Factors associated with chest injuries to front seat occupants in frontal impacts*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 20, nr. sup2, p. S37-S42.

[55]. Bose, D., Segui-Gomez, M. & Crandall, J.R. (2011). *Vulnerability of female drivers involved in motor vehicle crashes: an analysis of US population at risk*. In: American Journal of Public Health, vol. 101, nr. 12, p. 2368-2373.

[56]. Linder, A. & Svensson, M.Y. (2019). *Road safety: the average male as a norm in vehicle occupant crash safety assessment*. In: Interdisciplinary Science Reviews, vol. 44, nr. 2, p. 140-153.

[57]. Linder, A. & Svedberg, W. (2019). *Review of average sized male and female occupant models in European regulatory safety assessment tests and European laws: Gaps and bridging suggestions*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 127, p. 156-162.

[58]. Ridella, S., Rupp, J. & Poland, K. (2012). *Age-related differences in AIS 3+ crash injury risk, types, causation and mechanisms*. In: Proceedings of the Internatonal IRCOBI Conference on the Biomechanics of Injury. September 12-14, 2012, Dublin, Ireland.

[59]. Goudappel Coffeng (2010). *Beveiligingsmiddelen in de auto 2010*. Goudappel Coffeng in opdracht van Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart DVS, Delft.

[60]. Mak, P. (2020). *Apparatuurgebruik, gordeldracht en gebruik kinderzitjes door automobilisten en chauffeurs: in auto's, bestelwagens en vrachtwagens*. Rijkswaterstaat. Onderzoek uitgevoerd door NDC Nederland, Goudappel Coffeng.

[61]. Davidse, R.J., Duijvenvoorde, K. van & Louwerse, W.J.R. (2020). *Dodelijke verkeersongevallen op rijkswegen in 2019. Analyse van ongevals- en letselfactoren en daaruit volgende aanknopingspunten voor maatregelen*. R-2020-29. SWOV, Den Haag.

[62]. Davidse, R.J., Duijvenvoorde, K. van & Louwerse, W.J.R. (2020). *Dodelijke verkeersongevallen op rijkswegen in 2018. Analyse van ongevals- en letselfactoren en daaruit volgende aanknopingspunten voor maatregelen*. R-2020-26. SWOV, Den Haag.

[63]. NSIA (2020). *Report on a head-on collision between a passenger car and a van on the E39 at Austefjorden, Volda, Møre og Romsdal on 20 October 2019*. Report 2020-07. Norwegian Safety Investigation Authority, Lillestrøm, Norway.

[64]. Acar, B.S., Edwards, A.M. & Aldah, M. (2018). *Correct use of three-point seatbelt by pregnant occupants*. In: Safety, vol. 4, nr. 1, p. 1.

[65]. McMurry, T.L., Forman, J.L., Shaw, G. & Crandall, J.R. (2020). *Evaluating the influence of knee airbags on lower limb and whole-body injury*. In: Traffic Inj Prev, vol. 21, nr. 1, p. 72-77.

[66]. Hallman, J.J., Brasel, K.J., Yoganandan, N. & Pintar, F.A. (2009). *Splenic trauma as an adverse effect of torso-protecting side airbags: biomechanical and case evidence*. In: Annals of advances in automotive medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine. Annual Scientific Conference, vol. 53, nr. 13-24.

[67]. NHTSA (2008). *Counts of frontal airbag related fatalities and seriously injured persons*. AB0708. Department of Transportation DOT, National Highway Traffic Safety Administration NHTSA, National Center for Statistics & Analysis NCSA, Washington, D.C.

[68]. Funk, J.R., Cormier, J.M., Bain, C.E., Wirth, J.L., et al. (2012). *Factors affecting ejection risk in rollover crashes*. In: 56th AAAM Annual Conference Annals of Advances in Automotive Medicine. October 14-17, 2012. p. 203-2011.

[69]. Trempel, R.E., Zuby, D.S. & Edwards, M.A. (2016). *IIHS head restraint ratings and insurance injury claim rates*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 17, nr. 6, p. 590-596.

[70]. Schoon, C.C. (1995). *Technische aspecten omtrent aanwezigheid en gebruik van hoofdsteunen. Een studie uitgevoerd ten behoeve van de RAI*. R-95-30. SWOV, Leidschendam.

[71]. Viano, D.C. & Gargan, M.F. (1996). *Headrest position during normal driving: Implication to neck injury risk in rear crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 28, nr. 6, p. 665-674.

[72]. Strandroth, J., Rizzi, M., Olai, M., Lie, A., et al. (2012). *The effects of studded tires on fatal crashes with passenger cars and the benefits of electronic stability control (ESC) in Swedish winter driving*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 45, p. 50-60.

[73]. Malmivuo, M., Luoma, J. & Porthin, M. (2017). *Studded and unstudded winter tires in fatal road accidents in Finland*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 18, nr. 5, p. 550-555.

[74]. TCS (2009). *Leistungs- und kostenvergleich sommer-, winter- und ganzjahresreifen*. Touring Club Schweiz, Emmen (Luzern), Zwitserland.

[75]. ANWB (2021). *Winterbanden en sneeuwkettingen in het buitenland*. Geraadpleegd 01-10-2021 op https://www.anwb.nl/auto/banden/winterbanden/winterbanden-in-het-buitenland.

[76]. Garrott, W.R. & Mazzae, E.N. (1999). *An overview of the National Highway Traffic Safety Administration's light vehicle Antilock Brake Systems research program*. Technical Paper1999-01-1286. SAE International.

[77]. Ashenbrenner, K.M., Biehl, B. & Wurm, G.W. (1987). *Einfluss Der Risikokompensation auf die Wirkung von Verkehrsicherheitsmassnahmen am Beispiel ABS*. Schriftenreihe Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr. Heft 63, 65-70. Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.

[78]. Mazzae, E., Garrott, W.R. & Barickman, F. (2001). *NHTSA light vehicle Antilock Brake System research program task 7.1: Examination of ABS-related driver behavioral adaptation – license plate study*. DOT HS 809 430.

[79]. Erke, A. (2008). *Effects of electronic stability control (ESC) on accidents: A review of empirical evidence*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 1, p. 167-173.

[80]. Christoph, M.W.T. (2010). *Schatting van verkeersveiligheidseffecten van intelligente voertuigsystemen. Een literatuurstudie*. R-2010-8. SWOV, Leidschendam.

[81]. Arbogast, K.B., Durbin, D.R., Cornejo, R.A., Kallan, M.J., et al. (2004). *An evaluation of the effectiveness of forward facing child restraint systems*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 36, nr. 4, p. 585-589.

[82]. Nance, M.L., Lutz, N., Arbogast, K.B., Cornejo, R.A., et al. (2004). *Optimal restraint reduces the risk of abdominal injury in children involved in motor vehicle crashes*. In: Annals of surgery, vol. 239, nr. 1, p. 127-131.

[83]. Cornelissen, M., Kemler, E. & Hermans, M. (2018). *Veilig vervoer van kinderen in de auto. Onderzoek bij kinderen van 0 t/m 8 jaar*. Rapport 758. VeiligheidNL, Amsterdam.

[84]. Schoeters, A. & Lequeux, Q. (2018). *Klikken we onze kinderen wel veilig vast? Resultaten van de nationale Vias-gedragsmeting over het gebruik van kinderbeveiligingssystemen 2017*. Vias institute –Kenniscentrum Verkeersveiligheid, Brussel.

[85]. Kapoor, T., Altenhof, W., Snowdon, A., Howard, A., et al. (2011). *A numerical investigation into the effect of CRS misuse on the injury potential of children in frontal and side impact crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 43, nr. 4, p. 1438-1450.

[86]. Ma, X., Layde, P. & Zhu, S. (2012). *Association between child restraint systems use and injury in motor vehicle crashes*. In: Academic Emergency Medicine, vol. 19, nr. 8, p. 916-923.

[87]. Oh, C., Kang, Y.-s. & Kim, W. (2008). *Assessing the safety benefits of an advanced vehicular technology for protecting pedestrians*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 40, nr. 3, p. 935-942.

[88]. Fredriksson, R. & Rosén, E.A.O. (2014). *Head injury reduction potential of integrated pedestrian protection systems based on accident and experimental data – Benefit of combining passive and active systems*. In: IRCOBI conference 2014. Berlin, Germany. p. 603-613.

[89]. Rodarius, C., Mordaka, J. & Versmissen, T. (2008). *Bicycle safety in bicycle to car accidents*. TNO-033-HM-2008-00354. TNO.

[90]. EU (2020). *UN Regulation No 127 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to their pedestrian safety performance [2020/638]*. PUB/2020/334. Official Journal of the European Union, Brussels.

[91]. Hermitte, T. (2016). *Passenger car -Technical defect / Maintenance*. European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Geraadpleegd 05-11-2021 op www.roadsafety-dss.eu.

[92]. RDW (2021). *APK-keuringsschema*. Geraadpleegd 16-06-2021 op https://www.rdw.nl/particulier/paginas/apk-keuringsschema.

[93]. Rijksoverheid (2020). *Van Nieuwenhuizen stelt oldtimers vrij van APK-plicht*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Geraadpleegd 16-06-2021 op https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/12/11/van-nieuwenhuizen-stelt-oldtimers-vrij-van-apk-plicht.

[94]. 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*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 3, nr. 4, p. 288-293.

[95]. Kullgren, A., Lie, A. & Tingvall, C. (2010). *Comparison between Euro NCAP test results and real-world crash data*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 11, nr. 6, p. 587-593.

[96]. Strandroth, J., Rizzi, M., Sternlund, S., Lie, A., et al. (2011). *The correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and Euro NCAP pedestrian test results*. In: Traffic Injury Prevention, vol. 12, nr. 6, p. 604-613.

[97]. Pastor, C. (2013). *Correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and Euro NCAP pedestrian test results*. In: 23rd Enhanced Safety of Vehicles Conference. May 27-30, 2013, Seoul, Korea.

[98]. ETSC (2016). *How safe are new cars sold in the EU? An analysis of the market penetration of Euro NCAP-rated cars*. PIN Flash report 30. European Transport Safety Council.

[99]. EC (2018). *Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users, amending Regulation (EU) 2018/… and repealing Regulations (EC) No 78/2009, (EC) No 79/2009 and (EC) No 661/2009*. COM/2018/286 final - 2018/0145 (COD). European Commission, Brussels.

[100]. Minister van JenV (2018). *Aanpak rijden onder invloed van alcohol*. 29398-588. Brief regering dd. 7 maart 2018. F.B.J. Grapperhaus, minister van Justitie en Veiligheid en C. van Nieuwenhuizen Wijbenga, minister van Infrastructuur en Waterstaat.

[101]. ETSC (2021). *Intelligent Speed Assistance set for launch on all new EU vehicle types from 2022*. European Transport Safety Council. Geraadpleegd 24-06-2021 op https://etsc.eu/intelligent-speed-assistance-set-for-launch-on-all-new-eu-vehicle-types-from-2022/.

[102]. Carter, P.M., Flannagan, C.A.C., Reed, M.P., Cunningham, R.M., et al. (2014). *Comparing the effects of age, BMI and gender on severe injury (AIS 3+) in motor-vehicle crashes*. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 72, p. 146-160.

[103]. Maarseveen, R. van, Tijm, J. & Zwaneveld, P. (2018). *De fiscale behandeling van voertuigveiligheid*. CPB Policy Brief 2018/11. Centraal Planbureau, Den Haag.

Colofon

Overname is toegestaan met bronvermelding:
SWOV (2022). *Veilige personenauto's*. SWOV-factsheet, februari 2022. SWOV, Den Haag.

URL Bron:
https://swov.nl/nl/factsheet/veilige-personenautos

Thema's:
Vervoerswijzen - Personenauto

Cijfers:
Werkelijk aantal verkeersdoden naar geslacht, leeftijd en vervoerswijze
Werkelijke aantallen ernstig verkeersgewonden

Ongevallen **voorkomen**
Letsel **beperken**
Levens **redden**

SWOV

Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Postbus 93113

2509 AC Den Haag

Bezuidenhoutseweg 62

070 – 317 33 33

info@swov.nl

www.swov.nl

@swov_nl / @swov

linkedin.com/company/swov