



**Opzoekingscentrum
voor de Wegenbouw**

Samen voor duurzame wegen

CAV & verkeersveiligheid



Synthese

SN 52

Sinds 1952 staat OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) als onpartijdig onderzoekscentrum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. OCW deelt zijn kennis met professionals uit de wegenbranche onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchverslagen, meetmethoden, informatiebladen, OCW Newsletters en Dossiers, activiteitenverslagen). Onze publicaties worden in het binnen- en buitenland op ruime schaal verspreid bij centra voor wetenschappelijk onderzoek, universiteiten, openbare instellingen en internationale instituten. Meer informatie over onze publicaties en activiteiten: www.brrc.be/nl.

Synthese SN 52

CAV & verkeersveiligheid

Auteurs

Kris Redant
Hinko van Geelen

Disclaimer

Onderhavige tekst is gebaseerd op allerlei externe bronnen en commentaren en feedback van de leden van de werkgroep. In sommige gevallen wordt gebruik gemaakt van of verwezen naar bestaande kennis of ervaringen die worden opgedaan tijdens proefprojecten. Heel wat stellingen zijn louter een weergave van verwachtingen of inschattingen op basis van kennis van de leden van de werkgroep en uit andere literatuur. Voor geen van deze aannames bestaat er vandaag, in de huidige stand van de wetenschap, een sluitend bewijs. Er zal sowieso moeten worden afgewacht hoe de technologie van zelfrijdende voertuigen zal evolueren en welke impact dit zal hebben op de organisatie van transport in het algemeen en op infrastructuur in het bijzonder. Derhalve kunnen noch de leden van de werkgroep, noch OCW op enige wijze aansprakelijk worden gesteld voor beslissingen die op basis van deze tekst zouden worden genomen.

Dankwoord

Met bijzondere dank aan de deelnemers aan de boeiende discussies:

Koen Schietecatte, Clara Rybin, Kristof Rombaut, Johan Demol, Jonathan Denivelle, Gauthier Michaux, An Volckaert, Sven Neckebroeck, Steven Soens, Eric Kenis, Paul Lecocq, Denis Cornet, Christophe Nicodème, Rik Nuyttens, Ali Yeganeh

Bericht aan de lezer

Deze publicatie maakt een synthese van tal van naslagwerken en bevat citaten uit de geraadpleegde bronnen; van sommige wordt een eigen vertaling gegeven. OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verzamelde en verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld.

CAV & verkeersveiligheid / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.
– Brussel: OCW, 2024. 94 blz. – (Synthese; SN 52).

Wettelijk depot: D/2023/0690/7

Coverfoto: Metamorworks, 2017
© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Verantwoordelijke uitgever: Luk Geeroms, Woluwedal 42 – 1200 Brussel.

Inhoud

1 Inleiding	3
2 Achtergrondinformatie	5
2.1 Potentiële verkeersveiligheidswinst	5
2.2 Nieuwe risico's	6
2.3 Complexiteit	7
2.4 Automatische verplaatsingen (ADS) versus rijtaakondersteuning (ADAS), SAE-niveaus	8
2.5 Operational Design Domain (ODD)	12
2.6 Maatschappelijke vraagstukken	15
2.7 Ethische vraagstukken	15
2.8 Dynamiek	16
3 Elementen van onderzoek en testen	19
3.1 Oorzaakanalyse	19
3.2 Evalueren van de veiligheid van geautomatiseerde en zelfrijdende voertuigen?	21
3.3 Ontwerpomgeving versus testen op openbare weg	22
3.4 Vertrouwen van consumenten in autonome voertuigen	24
3.5 Connectiviteit & communicatie	26
3.6 Belgische gedragscode voor testen	27
3.7 Conventie van Genève	28
3.8 Vienna Convention on Road Signs and Signals	29
3.9 Wat zegt het cijfermateriaal?	30
4 Beleidsdoelstellingen op het vlak van verkeersveiligheid	35
4.1 Richting nul verkeersdoden	38
4.2 Wereldgezondheidsorganisatie en de Verenigde Naties	38
4.3 Beleid van de Europese Unie	39
4.4 België: All for zero	41
4.5 Regelgeving	43
5 De rol van infrastructuur bij verkeersveiligheidsaspecten van autonome voertuigen	45
5.1 Connectiviteit, CCAM, Communicatie	45
5.2 Overdragen van de besturing (disengagement)	46
5.3 Verkeersborden en wegmarkeringen	48
5.4 Wegoppervlak & obstakels	52
5.5 Pechhavens	52
5.6 Classificatie van wegen	53
5.7 Digital Twin/Digital Map	55
5.8 Digitale infrastructuur	57
5.9 Communicatie tussen AV en kwetsbare weggebruikers	58
5.10 Weersomstandigheden	59
5.11 Praktijkvoorbeeld van ADAS en Safe System Approach (mens – omgeving – voertuig)	60

6 Conclusie	63
7 Literatuurlijst	67
Bijlage 1 – Weersomstandigheden	77
Bijlage 2 – afkortingen	81
Bijlage 3 – Visie van “human factors”-onderzoekers	83

Lijst van de figuren

Figuur 1.1	Syntheserapport OCW – CAV en weginfrastructuur, stand van zaken en toekomstverkenning, 2021 (Redant & Van Geelen, 2021)	3
Figuur 2.1	Illustratie van de interpretatie van menselijk gedrag door een zelfrijdend voertuig. Maken deze twee mensen louter een praatje of staan ze op het punt om over te steken? (Brooks, 2017)	7
Figuur 2.2	SAE-levels (SAE International, 2021a)	8
Figuur 2.3	Sensoren in geautomatiseerde voertuigen (Viasnoff, 2022)	9
Figuur 2.4	Functies voor verschillende automatiseringsniveaus (Pinton, 2020)	10
Figuur 2.5	Verkeersveiligheid naar type voertuigen (How can automated, s.d.)	11
Figuur 2.6	Overgang van hoge naar volledige rijautomatisering in verschillende contexten (ITF, 2015)	12
Figuur 2.7	Verkeersbord met aanbeveling om ACC uit te schakelen (Westerscheldetunnel, Nederland) (Adaptive cruise control, 2021)	13
Figuur 3.1	Componenten van verkeersveiligheid	19
Figuur 3.2	(Mobileye SuperVision, 2023)	24
Figuur 3.3	Why autonomous vehicles need a large-system approach to safety (Sun et al., 2021)	25
Figuur 3.4	De sensoren van Drive Pilot (Mercedes-Benz Group, 2023)	29
Figuur 3.5	ADAS bestudeerd in de PARTS studie (PARTS, 2022)	32
Figuur 3.6	Veiligheidswinst van FCW en AEB (PARTS, 2022)	32
Figuur 3.7	Real world benefits of crash avoidance technologies (IIHS & HLDI, 2023)	33
Figuur 4.1	Grafische voorstelling van de Safe System Approach (ITF, 2016).	36
Figuur 4.2	Streefdoelen voor 2030 en 2050 in België volgens het interfederaal plan All for zero (All for zero, 2021)	41
Figuur 4.3	Tien algemene doelstellingen van het interfederaal plan All for zero (All for zero, 2021)	42
Figuur 5.1	Reasons for disengagement, gebaseerd op testen op de openbare weg in California (09/2014-11/2015) (Dixit et al., 2016)	47
Figuur 5.2	Reasons for disengagement, gebaseerd op testen op de openbare weg in California, 2021 (Zhang et al., 2021)	47
Figuur 5.3	Enkele varianten van het bord “gevaarlijke afdaling”	50
Figuur 5.4	Contrast lane markers verhogen de betrouwbaarheid van LKA (Lane Keeping Assistance) en LDW (Lane Departure Warning) systemen, in het bijzonder bij licht gekleurde verhardingen en bij fel licht (VSI Labs, 2021)	50
Figuur 5.5	Illustratie van elementen die het snelheidsregime bepalen (ITS.be, 2022)	51
Figuur 5.6	Verschillend snelheidsregime op hoofdbaan en parallelbaan (Klem, 2022)	51

Figuur 5.7	Categorisering van infrastructuur ten behoeve van autonome voertuigen: ISAD-levels zoals voorgesteld in het INFRAMIX project (Infrastructure categorisation, 2017)	53
Figuur 5.8	SRL (Smart Road Level volgens PIARC) (Garcia Garcia, 2021)	54
Figuur 5.9	Smart Road Levels (PIARC) (Garcia Garcia, 2021)	54
Figuur 5.10	Voorbeeld van een voertuig met meerdere informatieschermen om te communiceren met voetgangers (Volkswagen Tiguan) – projectie van oversteekplaats (Duff, 2015; Light staging and exterior HMI, 2018)	58

Lijst van de tabellen

Tabel 2.1	Randvoorwaarden Lane Keeping Assistance (LKA) bij vier verschillende wagens	14
Tabel 3.1	Gemiddeld percentage van voorkomen letselongevallen per configuratie (Pilet e.a., 2021)	34
Tabel 3.2	Gemiddeld percentage van voorkomen dodelijke ongevallen per configuratie (Pilet e.a., 2021)	34



Hoofdstuk 1

Inleiding

Een verkeerssysteem bestaat uit verschillende elementen (mens, voertuig en infrastructuur). Bij de introductie van *Connected & Autonomous Vehicles (CAV)* neemt het belang van de digitale dimensie (reeds aanwezig onder de vorm van navigatiesystemen en *Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)* verder toe. De kwaliteit van de interacties tussen de systeemelementen (eventueel bijkomend ondersteund door digitale functionaliteit) bepaalt voor een groot deel het functioneren van het verplaatsingssysteem en de ermee samenhangende **verkeersveiligheid**.

De fysieke **weginfrastructuur** maakt uiteraard deel uit van het verkeerssysteem op de openbare weg. Tot enige tijd geleden was de rol van de weginfrastructuur in de ontwikkeling van autonome verplaatsingen onderbelicht. Wegbeheerders vroegen zich terecht af welke investeringen zinvol zouden zijn om de ontwikkeling van autonome voertuigen te stimuleren en in veilige banen te leiden, en of er investeringen zijn die deze ontwikkeling zouden hypothekeren.

OCW bestudeerde dat uitvoerig in een daartoe opgerichte werkgroep met externe experts. Literatuurstudie en discussies van de werkgroep hebben geleid tot het document "Connected & Autonomous Vehicles en weginfrastructuur - stand van zaken en toekomstverkenning", dat werd gepubliceerd in 2021 (Redant & Van Geelen, 2021) en beschikbaar is op de OCW-website.



In dit document besteedden we ook aandacht aan verkeersveiligheid, maar dat was niet de hoofdmoot van het rapport.

Na de publicatie en de feedback op het rapport werden de werkzaamheden van de werkgroep voortgezet. Als onafhankelijke kennisinstelling met aandacht voor verkeersveiligheid en de fysieke weginfrastructuur, achtte OCW het waardevol om te proberen het thema verkeersveiligheid **verder uit te diepen**.

Figuur 1.1 – Syntheserapport OCW – CAV en weginfrastructuur, stand van zaken en toekomstverkenning, 2021 (Redant & Van Geelen, 2021)

Het **onderhavig rapport** is het resultaat van de bestudering van het thema verkeersveiligheid. Zijn geavanceerde voertuigen werkelijk veilig? Welke rol speelt de weginfrastructuur? We deden een poging om meer inzicht te krijgen in de aspecten die ertoe doen, met specifiek aandacht voor de weginfrastructuurcomponent.

Het rapport begint met relevante achtergrondinformatie (hoofdstuk 2). Vervolgens gaat hoofdstuk 3 in op elementen van onderzoek en testen. Verkeersveiligheidsbeleid en doelstellingen van het beleid komen ter sprake in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 trachten we meer inzicht te geven in de infrastructuurcomponent, en gaan we in op SAE-niveaus, ADAS en ADS. We ronden af met een besluit (hoofdstuk 6).



Hoofdstuk 2

Achtergrondinformatie

2.1 Potentiële verkeersveiligheidswinst

Het terugdringen van het aantal verkeersslachtoffers is een belangrijke **beweegreden** voor het inzetten op zelfrijdende voertuigen¹. Verschillende factoren spelen een rol bij zowel de oorzaak als de uiteindelijke gevolgen van verkeersongevallen. Omdat uit analyse van verkeersongevallen blijkt dat de bestuurder een prominente rol speelt (bij ruim 90 % van de verkeersongevallen speelt de menselijke factor een rol en daarvan is een derde gerelateerd aan overdreven snelheid²), zijn veel ontwikkelingen gericht op systemen die (een deel van) de taken van de bestuurder vereenvoudigen of overnemen. In de meest doorgedreven visie leidt dit inderdaad tot voertuigen die functioneren zonder menselijke tussenkomst (SAE L4 en SAE L5).

De winst als de menselijke factor zou worden vervangen door een “onfeilbare” machine lijkt op het eerste gezicht dan ook enorm.

Systemen in autonome voertuigen zijn erop gericht om verschillende taken simultaan uit te voeren (waarnemen van de directe omgeving en gelijktijdig potentiële conflictsituaties detecteren, ontvangen van informatie uit externe bronnen, snelle verwerking van informatie, enz.). Vandaag zijn deze systemen vooral een aanvulling van de menselijke bestuurder. Naarmate de betrouwbaarheid en functionaliteit van deze systemen toeneemt (waarbij veiligheid een absolute voorwaarde blijft), zouden zij mogelijk ooit de menselijke bestuurder kunnen vervangen.

Een machine:

- wordt niet afgeleid door een mobiele telefoon (10 tot 30 % van ongevallen door afleiding);
- rijdt niet onder invloed (een kwart van de ongevallen in de EU heeft te maken met alcohol);
- overschrijdt de voorgeschreven snelheid niet (bij 30 % van de dodelijke ongevallen is snelheid een factor) (European Automobile Manufacturers Association [ACEA], 2019a).

Het mag niet onvermeld blijven dat het voorkomen van een ongeval een grotere reikwijdte heeft dan enkel de direct betrokkenen; een veelvoud aan familie en vrienden wordt eveneens leed bespaard.

Ter illustratie van het **potentieel** om het verkeer veiliger te maken met autonome voertuigen: Nederlands onderzoek becijferde dat 10 % van alle auto-ongevallen wordt veroorzaakt door afleiding van de telefoon. Het komt erop neer dat autonome voertuigen in theorie 13.000 ongevallen per jaar kunnen voorkomen, waarvan ongeveer 2.500 met letsel en 79 met dodelijke afloop (de Boer, 2021).

Anderzijds is deze menselijke factor niet altijd toe te wijzen aan een bestuurder van een voertuig en/of is het niet altijd mogelijk om deze “variabele” menselijke factor te vervangen door automatisatie (de gedragingen van voetgangers en fietsers in het verkeer kunnen vooralsnog niet worden geautomatiseerd).

¹ Uit literatuurstudie zijn volgende drijfveren voor de ontwikkeling van – en transitie naar autonome voertuigen terug te vinden: verhogen van verkeersveiligheid, economische welvaart, verminderen van congestie, mobiliteit, inname van ruimte, energie-efficiëntie & milieuvriendelijkheid, en wegcapaciteit (Redant & Van Geelen, 2021).

² Het genoemde percentage (factor mens dat een rol speelt bij verkeersongevallen) steunt op het aantal gerapporteerde incidenten; wat niet of minder is geweten is hoeveel bijna-incidenten er precies door de mens zijn voorkomen (Islam et al., 2019; Treat et al., 1979).

2.2 Nieuwe risico's

Het voorgaande toont aan dat er potentieel veel winst te behalen is op het vlak van verkeersveiligheid. De perceptie lijkt te zijn dat autonome voertuigen een doorbraak kunnen betekenen voor het drastisch reduceren van het aantal verkeersongevallen en kunnen bijdragen aan het behalen van de verkeersveiligheidsdoelstelling om tot nul ongevallen te komen tegen 2050.

Het overhevelen van rijtaken van een menselijke bestuurder naar een machine gaat echter gepaard met **nieuwe risico's in het verkeerssysteem**. Onvoorziene situaties waarop menselijke bestuurders doorgaans adequaat kunnen anticiperen, zijn voor de algoritmen van zelfrijdende wagens soms een grote uitdaging.

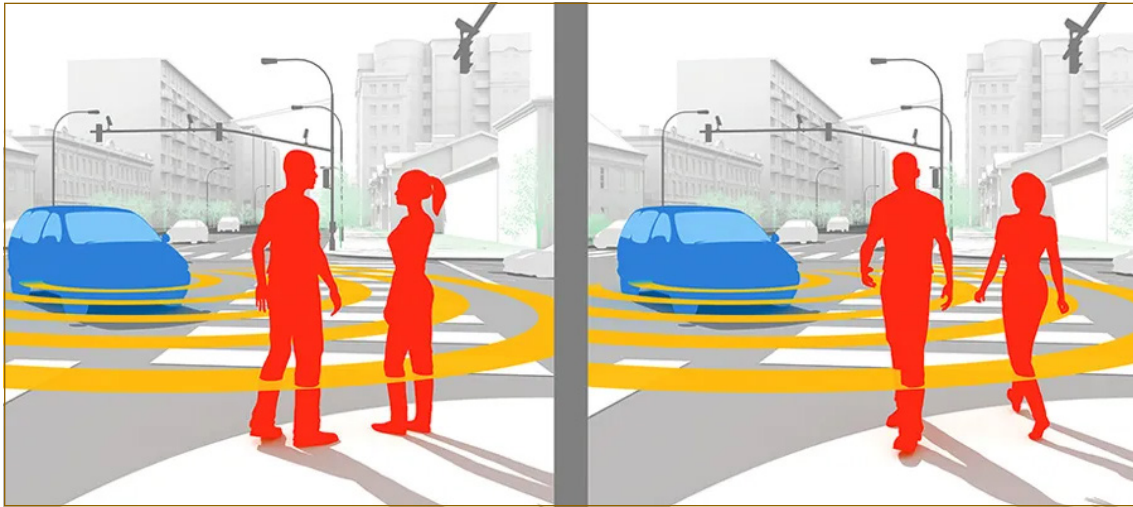
De overgang naar volledig autonome voertuigen brengt nieuwe uitdagingen met zich mee met een mix van geautomatiseerde en door mensen bestuurde voertuigen die in het verkeer interageren en waarbij sommige mensen nog meer risico's zullen nemen in de veronderstelling dat het geautomatiseerde voertuig hen zal zien en zal reageren om mogelijke botsingen te voorkomen (International Transport Forum [ITF], 2016).

Met name in **stedelijke omgevingen** moeten er nog ontwikkelingen plaatsvinden zodat rijtaakondersteunende systemen en automatisatie een bijdrage kunnen leveren aan de verkeersveiligheid van alle verkeersdeelnemers (o.a. voetgangers en fietsers), ongeacht of deze wel of niet geautomatiseerd of geconnecteerd zijn.

Onder meer het correct en tijdig inschatten van de intenties van en interacties met fietsers, voetgangers en gebruikers van micromobiliteit stelt hoge eisen aan rijtaakondersteunende systemen (detectie door sensoren en juiste interpretatie door algoritmen is vooralsnog niet vanzelfsprekend voor rijtaakondersteunende systemen).

Uit analyse van kop- en staartongevallen met betrokkenheid van zelfrijdende voertuigen, blijkt dat de bestuurder van het conventionele voertuig dikwijls verrast is door remacties van het voorliggende zelfrijdende voertuig (Pokorny et al., 2021). Niet alle voertuigen zijn voorzien van AEB (*Automatic Emergency*) of ACC (*Adaptive Cruise Control*), die kop- en staartbotsingen kunnen helpen voorkomen.

Proefprojecten met shuttles en robotaxi's (met name in de Verenigde Staten) laten uitschijnen dat het mogelijk is met nieuwe interacties om te gaan zonder dat dit leidt tot significante veiligheidsproblemen (conflictsituaties en ongevallen). Een duidelijk begrip van deze interacties moet helpen om potentiële risico's stelselmatig te beperken. Verschillende proefprojecten (voornamelijk buiten Europa) kunnen bijdragen aan het betrouwbaarder functioneren van zelfrijdende voertuigen in complexe stedelijke omgevingen.



Figuur 2.1 – Illustratie van de interpretatie van menselijk gedrag door een zelfrijdend voertuig. Maken deze twee mensen louter een praatje of staan ze op het punt om over te steken? (Brooks, 2017)

2.3 Complexiteit

De kracht van wagens is dat ze zeer geschikt kunnen zijn om zich veilig te verplaatsen over relatief lange afstanden, in zeer verschillende omgevingen. Voor wat betreft autonome voertuigen is het evenwel een **bijkomende uitdaging** om, minstens zo goed als menselijke bestuurders vandaag, in alle situaties de voor iedereen meest veilige keuzes te maken. Het gaat dan om heel diverse en dikwijls allesbehalve optimale omstandigheden. De context is steeds anders: het type weggebruikers verschilt, het wegbeeld, het type wegprofielen en de oversteekvoorzieningen zijn divers, objecten langs de weg hebben verschillende functies en dienen correct te worden herkend.

De toenemende complexiteit van systemen vergroot de kans op **fouten**. Deze fouten kunnen meerdere oorzaken hebben (Wang et al., 2020):

1. Waarnemingsfout (**perception error**): slecht functionerende hardware, bugs in softwarealgoritmen, fouten in de communicatie tussen hardware en software kunnen oorzaak zijn dat situaties verkeerd worden ingeschat.
2. Op basis van de informatie die het voertuig onderschept moet een beslissing worden genomen; nu nog voornamelijk door een menselijke bestuurder, later in toenemende mate door het systeem. Foute informatie, laattijdige informatie of situaties die niet voorzien zijn in het algoritme dat de afhandeling verzorgt, kunnen leiden tot foutieve beslissingen (**decision error**).
3. Zelfs als verkeerssituaties correct worden ingeschat en door mens of algoritme de juiste beslissing wordt genomen, kunnen mechanische haperingen van het voertuig of foutieve uitvoering door de mens (bv. door afnemende rijervaring) (**action error**) er toch nog oorzaak van zijn dat ongevallen niet worden vermeden.

2.4 Automatische verplaatsingen (ADS) versus rijtaakondersteuning (ADAS), SAE-niveaus

Driving automation verwijst naar zowel *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) als *Automated Driving Systems* (ADS). ADAS-functies op een voertuig **ondersteunen menselijke bestuurders**, terwijl ADS uiteindelijk in staat kan zijn **om een voertuig te besturen zonder menselijke tussenkomst**. De branche heeft zes niveaus van rijautomatisering geïdentificeerd, te vinden op de website van *Society of Automotive Engineers International* (SAE) (ADS Team, s.d.).

- ADAS-functies (niveaus 0-2) zijn beschikbaar in nieuwe auto's (of als *aftermarket module*) die tegenwoordig worden verkocht en omvatten automatisch noodremmen en adaptieve cruise control. Wanneer deze functies op de juiste manier worden gebruikt³, kunnen ze de veiligheid van de inzittenden (en andere weggebruikers) verbeteren en botsingen voorkomen;
- ADS-technologie (SAE-level 3-5) die in welbepaalde omstandigheden een voertuig kan besturen, is momenteel in ontwikkeling.

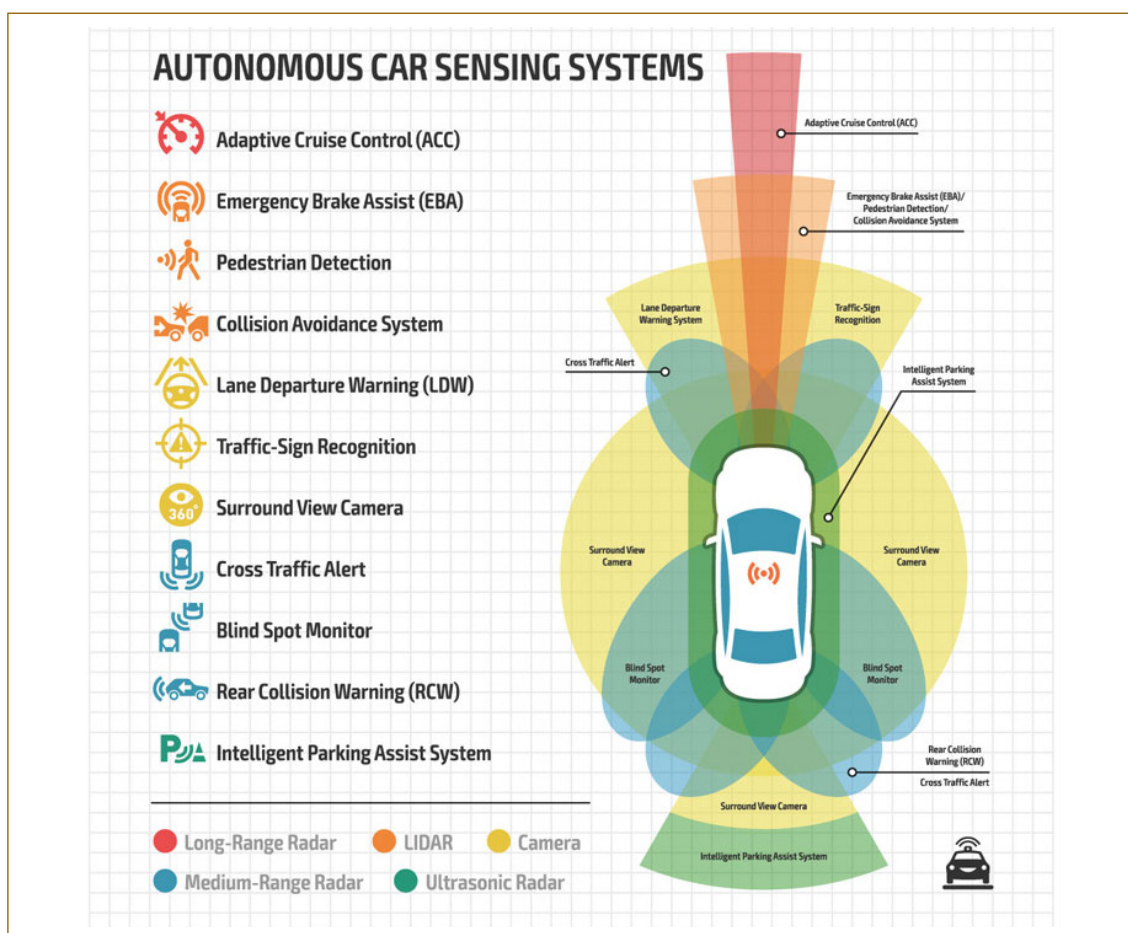
		SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™	
What does the human in the driver's seat have to do?		You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”			
		You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving		
Copyright © 2021 SAE International.								
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features				
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met		This feature can drive the vehicle under all conditions		
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions 		

Figuur 2.2 – SAE-levels (SAE International, 2021a)

³ § 2.5 Operational Design Domain.

Vandaag zijn er nog geen volledig **zelfrijdende voertuigen voor consumenten** op de markt. Nieuwe wagens worden wel uitgerust met allerlei systemen die de bestuurder ondersteunen bij het uitvoeren van zijn of haar rijtaak (ADAS – *Advanced Driver Assistance Systems*). We spreken nog niet van ADS (*Automated Driving Systems*). Een bestuurder dient nog steeds aandachtig te zijn. Zelfs de meest geavanceerde voertuigen die vandaag op de markt komen (SAE L3) verwachten nog dat een menselijke bestuurder de controle kan overnemen bij kritische situaties. Verordening (EU) 2019/2144 (Verordening [EU] 2019/2144, 2019) verplicht stelselmatig deze rijtaakondersteunende systemen als voorwaarde voor homologatie van nieuwe voertuigen. Vooral nog blijft de functie van deze systemen beperkt tot het informeren van de menselijke bestuurder of eventueel het ingrijpen bij noodsituaties (bv. AEB⁴). De **menselijke bestuurder** blijft de controle behouden.

Intussen organiseren aanbieders van mobiliteitsoplossingen op verschillende plaatsen (onder andere in de VS en China) proefprojecten met voor het publiek toegankelijke **zelfrijdende robotaxi's** (zowel met als zonder back-upbestuurder). Het voertuig rijdt in de eerste plaats zelf en enkel bij conflictsituaties wordt er ingegrepen door de in het voertuig aanwezige back-upbestuurder of door een operator op afstand.

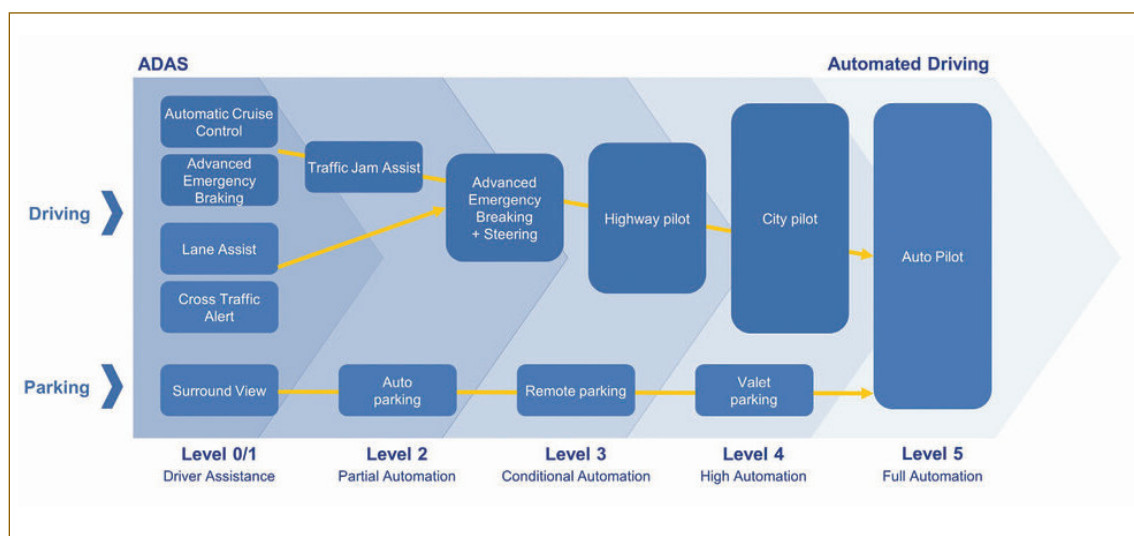


Figuur 2.3 – Sensoren in geautomatiseerde voertuigen (Viasnoff, 2022)

⁴ AEB: *Automatic Emergency Braking*. Voor heel wat functies zijn verschillende benamingen en afkortingen in gebruik, dikwijls eigen aan de autoconstructeur. *Automatic Emergency Braking* (AEB), *Auto(nomous) Emergency Braking* (AEB), *Emergency Brake Assist* (EBA) zijn verschillende benamingen voor dezelfde functionaliteit.

Stelselmatig wordt de **betrouwbaarheid** van deze systemen verhoogd, worden er nieuwe functies toegevoegd aan wagens en verschuiven rijtaken van de menselijke bestuurder naar het voertuig; tot het niveau waarop voertuigen bijna zelfstandig kunnen rijden en waarbij de tussenkomst van de menselijke bestuurder enkel nog nodig is in bijzondere situaties⁵. De mens ondersteunt dan als het ware de machine.

In eerste instantie functioneren deze systemen enkel als wordt voldaan aan alle randvoorwaarden (binnen een afgelijnd ODD⁶, bv. *Highway Pilot*) om later te kunnen functioneren in alle rijomstandigheden.



Figuur 2.4 – Functies voor verschillende automatiseringsniveaus (Pinton, 2020)

Volgens de SAE-indeling gaat het bij ADAS om **SAE-level 1 en 2**, de niveaus waarbij het voertuig al beperkte ondersteuning kan bieden aan de bestuurder (bv. *Adaptive Cruise Control*) of bij potentiële conflictsituaties kan ingrijpen (bv. *Automatic Emergency Braking*).

Vanaf SAE-level 3 (het laagste niveau van ADS) zijn geautomatiseerde voertuigen in staat om binnen bepaalde randvoorwaarden bepaalde rijtaken zelf af te handelen op basis van hun waarneming van de rijomgeving (SAE International, 2018). Er dient echter altijd een bestuurder aanwezig te zijn en van zodra het voertuig erom vraagt, moet deze bestuurder in staat zijn om de controle over het voertuig over te nemen (bv. *Traffic Jam Chauffeur*).

Voertuigen van SAE-level 4 of 5 moeten in principe in staat zijn om zelfstandig alle rijtaken te vervullen. In het geval van **SAE-level 4** (functioneel binnen bepaalde randvoorwaarden) zouden de automatiseringssystemen moeten toelaten dat een voertuig conflictsituaties detecteert en zelfstandig afhandelt of op een veilige manier tot stilstand komt. SAE-level 5 voertuigen (voorlopig hypothetisch) moeten veilig kunnen functioneren binnen alle randvoorwaarden.

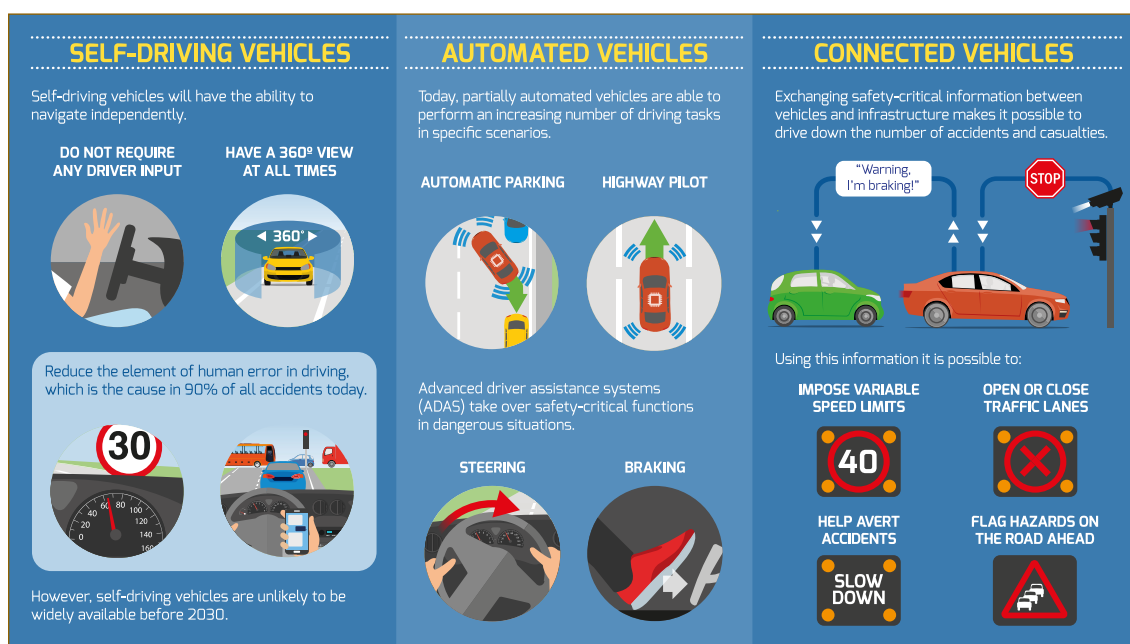
⁵ § 5.2 Overnemen van de besturing (*disengagement*).

⁶ ODD: *Operational Design Domain*, § 2.5

SAE-level 3 wordt door sommigen als problematisch ervaren (Torchinsky, 2022). SAE L3 functionaliteit is voorlopig enkel toegelaten in beperkte en heel specifieke rijomstandigheden en vereist dat een menselijke bestuurder op elk ogenblik de besturing kan overnemen. De specificatie blijft echter vaag over wanneer en de manier waarop de besturing moet worden overgedragen van het voertuig naar de menselijke bestuurder. Dat kan aanleiding geven tot gevaarlijke situaties. Om die reden pleiten sommigen ervoor meteen de overstap van SAE L2 naar SAE L4 te maken (o.a. Litzler, 2019).

Het optimaal gebruik van de ADAS-systemen vereist dat bestuurders zich ook vertrouwd maken met de functionaliteit en de randvoorwaarden zodat een veilig functioneren wordt verzekerd⁷.

De hierboven geschetste evolutie gaat uit van zelfstandig opererende voertuigen. Allerlei sensoren in het voertuig scannen de omgeving en ondernemen actie op basis van die waarnemingen en verwerkingsalgoritmen. In de lagere automatiseringsniveaus beperkt de actie zich hoofdzakelijk tot het informeren van de bestuurder. Naarmate het automatiseringsniveau stijgt, kan ook alsmear meer actief worden ingegrepen op het gedrag van het voertuig (bv. bij *Advanced Cruise Control* wordt de snelheid van het voertuig aangepast aan de snelheid van het voorliggende voertuig en de ingestelde tussenafstand).



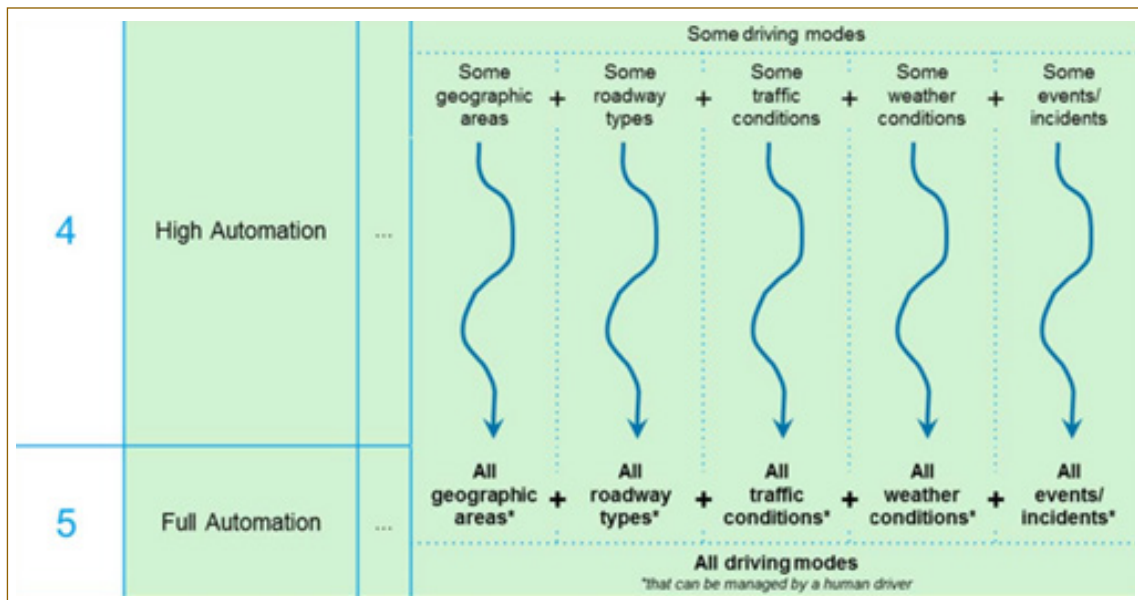
Figuur 2.5 – Verkeersveiligheid naar type voertuigen (How can automated, s.d.)

⁷ De VSV organiseert een opleiding over deze systemen voor rijlesbegeleiders (Vlaamse Stichting Verkeerskunde [VSV], 2023) In 2022 wijdde VRT een aflevering van **Kijk Uit** aan autoveiligheidssystemen (Belgian Federal Police, 2022).

2.5 Operational Design Domain (Hillen, 2020) (ODD)

De rijtaakondersteunende systemen waarmee voertuigen die vandaag op de markt komen, zijn uitgerust, functioneren doorgaans enkel binnen welbepaalde randvoorwaarden, het zogenaamde **Operational Design Domain**⁸. Deze randvoorwaarden kunnen betrekking hebben op de meest uiteenlopende parameters (locatie, snelheidsregime, weersomstandigheden, verkeersdrukte, wegoppervlak, signalisatie, lokale gebruiken en regels, enz.).

Vooraleer voertuigen volledig geautomatiseerd alle weg- en omgevingsomstandigheden aankunnen die door een menselijke bestuurder kunnen worden beheerd, is er nog een lange weg te gaan (figuur 2.6).



Figuur 2.6 – Overgang van hoge naar volledige rijautomatisering in verschillende contexten (ITF, 2015)

Het is voor de fabrikanten van voertuigen een uitdaging om systemen te ontwikkelen die in zoveel mogelijk omstandigheden betrouwbaar functioneren. Anderzijds dienen gebruikers van voertuigen met rijtaakondersteunende systemen er zich van bewust te zijn dat deze niet in alle omstandigheden betrouwbaar functioneren of dat zelfs wordt aangeraden deze systemen uit te schakelen als randvoorwaarden worden overschreden.

⁸ SAE J3016 (2021), the Operational Design Domain (ODD) for a driving automation system is defined as “Operating conditions under which a given driving automation system, or feature thereof, is specifically designed to function, including, but not limited to, environmental, geographical, and time-of-day restrictions, and/or the requisite presence or absence of certain traffic or roadway characteristics.” (SAE International, 2021b).

Bijvoorbeeld in de Westerscheldetunnel is een waarschuwingsbord geplaatst (figuur 2.7), naar aanleiding van meldingen dat voertuigen plotseling remmen in de tunnel (Adaptive cruise control, 2021).



Figuur 2.7 – Verkeersbord met aanbeveling om ACC uit te schakelen (Westerscheldetunnel, Nederland) (Adaptive cruise control, 2021)

Vooralsnog zijn er **geen formele afspraken** over welke parameters bepalend zijn voor het ODD. Voertuigfabrikanten kunnen grotendeels zelf bepalen op welke basis zij een ODD definiëren.

Wegbeheerders hebben echter nood aan een uniforme benadering. Als de randvoorwaarden voor het functioneren van een welbepaalde functionaliteit kunnen worden **gestandaardiseerd**, heeft een wegbeheerder meer houvast om daar bij de inrichting van wegen ook rekening mee te houden.

Wegbeheerders kunnen in sommige omstandigheden aanbevelen om een **ADAS-systeem uit te zetten**, als de verkeersveiligheid in het gedrang zou kunnen komen door het gebruik van zo'n systeem.

Het introduceren van nog in ontwikkeling zijnde of onvolwassen systemen op de weg wordt door de Onderzoeksraad voor veiligheid in Nederland gezien als een noodzakelijke stap om deze systemen verder te ontwikkelen. Na uitgebreid onderzoek stelt de raad dat er sprake is van een **black box**. De overheid heeft bij toelating van nieuwe auto's onvoldoende toezicht op de werking van nieuwe systemen in verschillende omstandigheden. Die raad stelt ook dat voor een deel van de rijhulpsystemen niet duidelijk is welk effect deze systemen hebben op de verkeersveiligheid, en dat het ontbreekt aan een goede monitoring en evaluatie van deze systemen (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019).

In afwachting van internationale regelgeving nam de Duitse overheid in juli 2021 wetgeving aan die volledig autonoom rijden (SAE L4) mogelijk maakt. Deze wetgeving is geen algemene toelating, maar maakt het mogelijk dat de wegbeheerder de activering van zelfrijdende systemen toelaat in een welomschreven gebied of weg en – uiteraard - enkel voor voertuigen die over deze functionaliteit beschikken (New autonomous driving law, 2021; Pingol, 2021).

Onderstaande tabel illustreert de verschillende randvoorwaarden voor de optimale werking van een rijbaanassistentiesysteem zoals weergegeven in de handleiding bij een aantal actuele voertuigmodellen.

	Wagen 1	Wagen 2	Wagen 3	Wagen 4
Snelheid	65-180 km/h	v.a. 65 km/h	v.a. 60 km/h	60-180 km/h
Actie, waarschuwing	Stuurcorrectie	Trilling stuur	Stuurcorrectie + trilling stuur	Stuurcorrectie, bromgeluid speakers, visueel
Werking wordt verstoord door	Afwezige, niet-zichtbare of meerdere markeringen (bouwplaatszones)	Andere objecten kunnen herkend worden als markering	Slecht wegdek, afwezige rijstrookbegrenzing, andere objecten, wegwerkzaamheden, heuveltoppen en dalen	Niet-zichtbare markering (minstens één kant), obstructie van de camera
		Bruuske manoeuvres	Dynamische rijstijl	Verkeersomstandigheden (bv. rijdende voertuigen die niet in lijn rijden met die van jou, voertuig dat dwars of tegengesteld rijdt op dezelfde rijstrook, bocht met een kleine kromtestraal)
	Beperkte tussanafstand voorligger			Gepaste afstand voorligger
		Moeilijke weersomstandigheden	Slechte weersomstandigheden	Ongeschikte zichtomstandigheden (zware regenval, hagel, dichte mist, zware sneeuwval, vorming van ijslagen op de voorruit)
	Smalle wegen, bochtige wegen	Smalle wegen	Scherpe bochten	Niet rechtlijnige wegen, wegen met niet brede bochten
				Richtingaanwijzer actief

Tabel 2.1 – Randvoorwaarden Lane Keeping Assistance (LKA) bij vier verschillende wagens

2.6 Maatschappelijke vraagstukken

De eerste experimenten met wagens zonder bestuurder dateren al van 100 jaar geleden. Het is echter pas vanaf de eeuwwisseling dat verschillende organisaties om uiteenlopende motieven en met wisselend succes zich actief inzetten voor de ontwikkeling van technologie voor zelfrijdende voertuigen. Technologische vooruitgang gaat daarbij niet zelden gepaard met **maatschappelijke vraagstukken**.

Bij de bestudering van autonome voertuigen en verkeersveiligheid, met specifieke aandacht bovendien voor de weginfrastructuur, moet bewustzijn over de *big picture* meespelen. De ontwikkeling van autonome voertuigen is immers slechts een van de ontwikkelingen op het vlak van mobiliteit waarmee rekening moet worden gehouden. Mobiliteitsbeleid, duurzaamheid, stedelijke ontwikkeling en digitalisering spelen een rol. Daarbinnen moeten diverse maatschappelijke thema's ingecalculeerd worden bij de ontwikkeling van autonome verplaatsingen. (bv. de **deeleconomie**, de **milieuproblematiek** en de **afdwingbaarheid van maatregelen** met betrekking tot de toegankelijkheid van steden).

2.7 Ethische vraagstukken

Voor de automobiefabrikanten zijn zelfrijdende voertuigen geen doel op zich. Onderzoek en ontwikkeling rond zelfrijdende voertuigen worden sterk aangedreven door een streven naar veiligere en minder milieubelastende voertuigen. Niet zelden worden zinvolle innovaties (op vrijwillige basis) geïmplementeerd door de volledige automobieliindustrie en/of wettelijk verankerd en verplicht in alle voertuigmodellen. Passieve veiligheidssystemen zijn vandaag zo goed als veralgemeend. Actieve veiligheidssystemen en zelfrijdende voertuigen, zowel privaat als gedeeld, zijn als het ware een doorgedreven vorm van dit streven; door de wispelturigheid van de meest onzekere factor (de mens) te beperken of uit te schakelen, wordt getracht veiligere voertuigen te bouwen.

Ethiek komt om de hoek kijken bij de dilemma's die zich kunnen voordoen (Wittock & Wittock, 2021):

1. Hoe programmeer je een ADS-algoritme bij een onvermijdelijk ongeval? Wegen de gevolgen van het ongeval voor de inzittenden zwaarder door dan voor andere weggebruikers?
2. Moet ertoe worden overgegaan om de technologie te verplichten, als het effectief de veiligheid aanzienlijk verhoogt?
3. Hoe verhouden investeringen van publieke middelen zich? Welke prioriteit moet worden gegeven aan privaat autonoom vervoer ten opzichte van bijvoorbeeld openbaar vervoer (al of niet autonoom)?
4. Hoeveel beslissingsmacht toekennen aan een autonoom voertuig? Zijn er vaardigheden die de mens kan verliezen als hij enkel nog maar in noodgevallen de macht over het voertuig moet over kunnen nemen?

Het eerste aangehaalde ethische dilemma lijkt minder pertinent te worden naargelang **artificiële intelligentie** zijn plaats vindt in de autonome voertuigen. Het algoritme bestuurt dan de wagen op basis van miljoenen kilometers weggedrag, door positief gedrag van andere bestuurders te kopiëren naar nieuwe situaties⁹.

Het derde dilemma behoeft wat toelichting. Het lijkt hier te gaan om een tegenstelling tussen autonoom privaat vervoer en niet-autonoom openbaar vervoer. Dat gaat voorbij aan het feit dat ook het openbaar vervoer minstens voor een deel autonoom wordt. De in sommige steden al rondrijdende robotaxi's zijn daar het levend bewijs van. Het dilemma zou daarom beter als volgt omschreven kunnen worden: "Welke prioriteit voor investeringen in voorzieningen voor **privaat autonoom vervoer ten opzichte van publiek autonoom vervoer**".

2.8 Dynamiek

De ontwikkeling en de uitrol van autonome voertuigen is een dynamisch proces. Er zal gedurende geruime tijd nog rekening moeten worden gehouden met een **mix aan voertuigen** met verschillende automatiseringsniveaus en met voertuigen van verkeersdeelnemers die niet of slechts beperkt uitgerust zijn met nieuwe technologieën.

De samenstelling van de mix aan voertuigen verandert in de tijd, maar het is onduidelijk hoe snel de transitie naar autonome voertuigen van hogere SAE-levels zal plaatsvinden. Voor wat betreft verkeersveiligheid vraagt dit een aanpak die holistisch inzet op de verkeersveiligheid van alle typen weggebruikers: van conventioneel en niet-geconnecteerd (bv. voetgangers, oldtimers) tot hypergeconnecteerd (autonoom voertuig van SAE-level 5). Het is cruciaal om te **monitoren wat veilig** is voor elke verplaatsingsmodus, zowel apart voor een bepaald type als onderling tussen de verschillende types.

Voor wat betreft **infrastructuur** is de insteek om autonome voertuigen te ontwikkelen die gebruik kunnen maken van **bestaande en niet steeds in optimale toestand verkerende wegen**. Voor de systeemverandering naar autonome mobiliteit worden er in principe geen speciale wegen aangelegd. Een eenduidige fysieke standaard voor de weg die klaar is voor de autonome wagen is er niet.

Er is evenwel algemene consensus ontstaan dat het **onderhoud van wegen aan belang wint** bij de uitrol van autonome voertuigen. De meeste geavanceerde voertuigen met zelfrijdende functionaliteit worden almaar minder afhankelijk van wegmarkeringen. Slechte weersomstandigheden zijn evenwel niet bevorderlijk voor het correct lezen van wegmarkeringen. Niettegenstaande de technologische vorderingen, is er toch overeenstemming dat duidelijke en **uniforme signalisatie** (zowel verkeersborden als wegmarkeringen) een bijdrage kan leveren aan het betrouwbaarder functioneren van nieuwe voertuigtechnologieën. Dat komt de hele mix aan voertuigen en weggebruikers ten goede¹⁰.

Het blijft echter belangrijk dat bij de ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen rekening wordt gehouden met reële situaties en infrastructuur die niet beantwoordt aan vooropgestelde standaarden. In de lagere SAE-niveaus kan de besturing van het voertuig nog worden overgenomen. In SAE L4 en L5 dient het voertuig ook te kunnen functioneren onder zulke niet-ideale rijomstandigheden.

¹⁰ § 5.3 over de werkgroep ter zake (EGRIS *subwerkgroep road markings & signs*).

De **urgentie** om het verkeerssysteem verkeersveiliger te maken blijft groot. De doelstelling om tot nul verkeersdoden en zwaargewonden te komen tegen 2050 moet de komende decennia worden gehaald, en daarvoor moet er aandacht gaan naar alle mogelijke maatregelen. De statistieken laten immers zien dat er wat stagnatie is (of zelfs een stijging, zoals in de Verenigde Staten) van het aantal verkeersdoden en zwaargewonden. (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], s.d.; World Health organization [WHO] & United Nations [UN] Regional Commissions, 2021).

In Europa wordt sterk ingezet op de *Safe System Approach*, in België zetten de federale overheid en de regionale overheden in op *All for Zero*¹¹. Ondertussen bleek uit het ARTS 2022 symposium (Highlights, 2023) dat in de Verenigde Staten, doorgaans gezien als een gidsland op het vlak van autonome voertuigen, het besef ontstaat:

- dat automatisering **geen wondermiddel** is dat op een presenteerblad wordt aangereikt door de industrie, maar dat automatisering een **potentieel hulpmiddel** is om de toename van het aantal verkeersdoden aan te pakken;
- dat er federaal beleid nodig is, dat een lappendeken van regelgeving moet voorkomen;
- dat het noodzakelijk is om menselijke en *Automated Driving (AD)* prestaties te coördineren, om de sterke punten te optimaliseren in plaats van te verwachten dat menselijke monitoren consequent de moeilijke AD-situaties zullen oplossen;
- dat er groeiende aandacht is voor infrastructuurondersteuning voor geautomatiseerd rijden (digitale ondersteuning, sensoren, fysieke scheidingen, enz.).

¹¹ § 4 Beleidsdoelstellingen op het vlak van verkeersveiligheid.



Hoofdstuk 3

Elementen van onderzoek en testen

Om de potentie van oplossingen te kennen, is het in de eerste plaats noodzakelijk om een goed inzicht te hebben in de aard van de problemen. In tweede instantie volgt onderzoek naar mogelijke oplossingen, die dan in derde instantie in de praktijk gestalte moeten krijgen en hun waarde moeten bewijzen.

Concreet met betrekking tot de transitie naar autonome voertuigen is kennis van ongevalsoorzaken de **basis** van het proces om het aantal ongevallen effectief te doen dalen:

- Wat zijn de bestaande ongevalsoorzaken en hoe evolueren ze?
- Welke ongevalsoorzaken kan een autonoom voertuig oplossen?
- Hoe kun je dat praktisch toetsen?
- Hoe kun je opschalen?

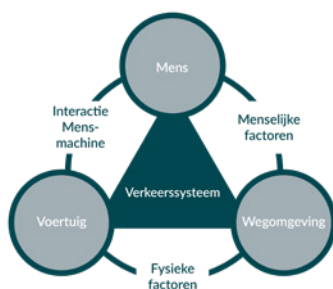
We benoemden in hoofdstuk 2 het potentieel van verkeersveiligheid, maar ook het feit dat er nieuwe risico's zijn. Om de juiste investeringen te kunnen doen, om de rol van infrastructuur op zijn juiste waarde te kunnen schatten, moet een kundige analyse worden gedaan.

Verkeersveiligheid wordt doorgaans geëvalueerd op basis van het aantal en de ernst van verkeersongevallen en het aantal verkeersslachtoffers. **Diepteanalyse** van ongevallen laat toe om de belangrijkste oorzaken van een ongeval aan te duiden. Die oorzaken worden onderscheiden naar drie hoofdcategorieën: menselijke oorzaken, oorzaken te wijten aan het voertuig en oorzaken te wijten aan de omgeving.

3.1 Oorzaakanalyse (Oorzaakanalyse, s.d.)

Het eerste doel van oorzaakanalyse is om de **onderliggende oorzaak** van een probleem of gebeurtenis vast te stellen.

Dikwijls spelen meerdere factoren een rol bij verkeersongevallen. Uit analyse van ongevallen blijkt dat in 9 op de 10 gevallen de menselijke factor oorzaak is of bijdraagt aan de gevolgen van een verkeersongeval. In ongeveer 60 % van de gevallen spelen zelfs louter menselijke factoren een rol. Acties om de verkeersveiligheid te verhogen (rijopleiding, snelheids- en alcoholcontroles, enz.) focussen dan ook vaak op deze belangrijke menselijke factor.



Figuur 3.1 – Componenten van verkeersveiligheid

Het tweede doel is om volledig te begrijpen hoe deze onderliggende oorzaken kunnen worden opgelost of gecompenseerd zodat ze niet langer aanleiding geven tot ongevallen (of de oplossingen helpen om de gevolgen van een ongeval te beperken), of om te leren van problemen die ten grondslag liggen aan de onderliggende oorzaak.

In het geval van ongevallen waarvan de oorzaak in eerste instantie kan worden toegewezen aan menselijke factoren kan het gaan om een combinatie van **achterliggende factoren** van de componenten en combinaties ervan (bv. interactie tussen menselijke factoren en het voertuig/*Human Machine Interface* (HMI)). Een deel van de oplossing (het beperken of uitsluiten van menselijke ongevalsoorzaken) kan dan zijn om deze interactie te verbeteren door aanpassingen aan de HMI of door training van de gebruiker. Het gaat ook om onderzoek naar maatregelen die het probleem kunnen oplossen of compenseren (milderen), cf. vergevingsgezinde wegen.

Een voorbeeld van een combinatie van factoren die uit onderzoek van een proces-verbaal van een ongeval naar boven kan komen: de gereden snelheid was 150 km/u, bij een toegelaten snelheid van 120 km/u. Het wegdek was glad door de regen, en de bestuurder werd afgeleid door een boodschap van de gsm op zijn boordcomputer, en hij was onder invloed (drugs).

Voor elk van de genoemde factoren kan een autonoom voertuig in potentie een oplossing zijn:

- *Gereden snelheid: het AV kan zo ingesteld zijn dat het voertuig de limiet niet overschrijdt.*
- *Glad wegdek: het AV analyseert zelf de gladheid en stemt zijn rijgedrag erop af.*
- *Afleiding door gsm: bij volledig autonoom rijden is dit risico er niet meer. Bij lagere niveaus van autonoom rijden moet de bestuurder zijn of haar aandacht op de weg houden en blijft de kans bestaan dat de bestuurder wordt afgeleid door zijn of haar gsm. Desalniettemin worden zowel het gedrag van het voertuig (bv. LKA) als van de bestuurder (bv. Advanced Driver Distraction Warning) gemonitord door rijtaakondersteunende systemen en neemt het risico op ongevallen door afleiding toch af ten opzichte van een traditioneel voertuig.*
- *Rijden onder invloed: bij volledig autonoom rijden is dit risico er niet meer, bij lagere SAE-niveaus kan dit problematisch zijn, ook al zijn er voertuigen die de rijgeschiktheid van de bestuurder kunnen testen.*

Het derde doel is om **van deze analyse te leren** en systematisch toekomstige problemen te voorkomen of om successen te herhalen. Het gaat dan om het zoeken naar verbanden tussen verschillende ongevallen, met de nadruk op het voorkomen van nieuwe gelijkaardige ongevallen. Vervolgens moet er iets met deze analyse worden gedaan. Met het wijzigen van processen en systeemkwesties kunnen problemen in de toekomst worden voorkomen.

3.2 Evalueren van de veiligheid van geautomatiseerde en zelfrijdende voertuigen?

Met een toenemend automatiseringsniveau nemen voertuigen alsmaar meer de rol van de bestuurder over. Vandaag wordt de **rijvaardigheid van bestuurders** initieel geëvalueerd tijdens de rijopleiding waarbij rekening wordt gehouden met lokale regels en gebruiken. Nadien wordt deze rijvaardigheid nog ad hoc getoetst door middel van controleacties, geautomatiseerde toezichtssystemen, vastgestelde inbreuken, enz. De **rijvaardigheid van een voertuig** wordt geëvalueerd aan de hand van de eisen die worden gehanteerd voor de homologatie en nadien tijdens de periodieke technische controle. Een homologatie en een positief keuringsbewijs zijn vereist om een voertuig toe te laten op de openbare weg. Voor ADAS-systemen lijkt een doorlopende monitoring van het functioneren een belangrijk aandachtspunt, in plaats van een periodieke controle. Ook is het best om na een aanrijding of schade aan het koetswerk of de ruiten nauwkeurig de ADAS-systemen te laten kalibreren.

De passieve veiligheid van voertuigen wordt onder meer geëvalueerd aan de hand van (vrijwillige) **Euro NCAP-botsproeven** die een aanduiding geven over de potentiële gevolgen van een aanrijding voor zowel inzittenden als andere weggebruikers. De Euro NCAP-botsproeven zijn een vrijwillig initiatief van de auto-industrie. De industrie sponsort jaarlijks een reeks testen op populaire voertuigmodellen. Daarnaast is een autoconstructeur vrij om zijn voertuigmodellen aan testen te onderwerpen. De organisatie heeft niet de capaciteit om alle mogelijke voertuigmodellen en varianten te beproeven.

Als systemen in voertuigen meer en meer verplicht worden en alsmaar meer de rol van menselijke bestuurders overnemen, dringt zich de behoefte op om ook de **functionaliteit en betrouwbaarheid** van deze systemen te evalueren en eventueel te toetsen aan minimale vereisten vooraleer ze toe te laten in wagens.

Tot op heden bestaat er echter **geen gestandaardiseerde methode** om het veilig functioneren van een zelfrijdend voertuig te evalueren.

Evaluaties kunnen worden gebaseerd op het testen van individuele componenten of functies. Verordening (EU) 2019/2144, 2019 verplicht autoconstructeurs om nieuwe voertuigen geleidelijk aan **standaard uit te rusten** met een aantal geavanceerde mogelijkheden (LKA, AEB, detectie van slaperigheid, ISA, enz.). De betrouwbaarheid van deze systemen dient aantoonbaar te voldoen aan vastgelegde criteria. Bijvoorbeeld voor ISA wordt vooropgesteld dat in 80 % van de gevallen het snelheidsregime correct moet worden herkend.

Euro NCAP heeft aan zijn beoordelingen een onderdeel **Safety Assist** toegevoegd. In deze beoordeling worden het beschikbaar zijn en de werking van een aantal *safety features* geëvalueerd aan de hand van een aantal standaardscenario's in een testopstelling waarbij ook rekening wordt gehouden met minder ideale condities. Bij de beoordeling van LKA-systemen wordt bijvoorbeeld ook rekening gehouden met de werking van het systeem als de randmarkering ontbreekt. De *Safety Backup* beoordeling kijkt naar storing van het systeem, de interventie van de bestuurder en het uit de weg gaan van botsingen.

Evaluatie van de veiligheidswinst van AV door **analyse van echte ongevallen** lijkt echter ook geen sluitende oplossing. Verkeersongevallen komen ondanks alles relatief weinig voor. Het zou enorm veel tijd vragen vooraleer op basis van ongevalgegevens zou kunnen worden aangetoond dat een AV veiliger is dan een conventioneel voertuig¹².

¹² 390 verkeersongevallen per 1^E09 afgelegde km (0,00004 %) (De Bruyne, 2021) / Google car in California (US) periode 2000-2015: 11 ongevallen per 2,7^E06 afgelegde km (0,0004 % / 10 x hoger) (naar Pritchard, 2015) – ook veel (dezelfde) info in (ITF, 2018).

Om statistisch aan te tonen dat autonome motorvoertuigen een gelijkaardig dodelijk ongevalsrisico hebben als het huidige verkeer, zouden er in totaal 440 miljoen km moeten worden afgelegd zonder een dodelijk slachtoffer. Het zou nog jaren duren als er zou worden getest met een beperkt aantal voertuigen. **Proefrijden** alleen kan niet voldoende bewijs leveren om de veiligheid van autonome voertuigen aan te tonen. Ontwikkelaars van deze technologie en externe testers zullen innovatieve methoden moeten ontwikkelen om veiligheid en betrouwbaarheid aan te tonen. Zelfs met deze methoden is het wellicht niet mogelijk om met zekerheid de veiligheid van autonome voertuigen vast te stellen¹³.

Veiligheid is een belangrijk aandachtspunt bij **pilootprojecten**. Voorafgaandelijk moet worden aangetoond hoe conflictsituaties worden afgehandeld zonder de veiligheid van verkeersdeelnemers in het gedrang te brengen. Daarbij worden almaar strengere scenario's in overweging genomen.

Bij testen op de openbare weg kan rapportage van ongevallen en het overdragen van de besturing aan de menselijke bestuurder (**disengagement**) een maat zijn voor evaluatie van functioneren van rijtaakondersteunende systemen (Petrovič, 2020; Wang et al., 2020).

Het gebruik van de *disengagement* indicator stuit echter ook op weerstand (Yoshida, 2019). Ontwikkelaars van AV zouden hierdoor geneigd kunnen zijn om systemen toleranter in te stellen. *Disengagements* en informatie waarom de besturing werd overgedragen aan de menselijke bestuurder zijn anderzijds wel zinvol om de limieten van het betrouwbaar functioneren van ADAS en ADS te identificeren en de betrouwbaarheid van deze systemen in deze randgevallen stelselmatig op te drijven.

Onderzoeken naar de effecten van ADAS zijn daarom ook gebaseerd op **simulaties** in een ontwerpomgeving. Rijsimulatoren bootsen een rijomgeving na, waarmee het gedrag van een autonoom voertuig of van een bestuurder kan worden geanalyseerd (bv. door de rijomgeving te wijzigen en het gedrag te vergelijken). Dergelijke onderzoeksmethode kan ook worden gebruikt in overgangssituaties, als een autonoom voertuig zijn taken overdraagt aan een bestuurder. Het ontwikkelen en simuleren van zulke ontwerpomgeving is echter evenmin vanzelfsprekend (Feng et al., 2021). Bestaande simulatiemethodes zijn gebaseerd op "statistische gemiddelden". Autoconstructeurs maken gebruik van heel geavanceerde simulatiemodellen met grote complexiteit en variaties, maar het blijkt bijzonder moeilijk om de **complexiteit van een werkelijke verkeersomgeving** met een veelvoud aan toevallige gebeurtenissen te simuleren.

3.3 Ontwerpomgeving versus testen op openbare weg?

Wereldwijd vinden er meer en meer **pilootprojecten** met autonome voertuigen plaats. Vooral buiten Europa¹⁴ zijn dit grootschalige testen waarbij in een stad of stadsdeel een volledig geautomatiseerde taxidienst wordt aangeboden. In België blijven proefprojecten voornamelijk beperkt tot het testen van shuttles op een vast traject (Louvain-La-Neuve, Terhills, Mechelen, enz.) of experimenten met individuele voertuigen (Detroz et al). Met de opgedane ervaring uit die pilootprojecten komt er, naargelang de groeiende afgelegde afstand met dergelijke voertuigen, meer kennis beschikbaar over de verkeersveiligheid.

¹³ Het zou nog 12,5 jaar duren als er getest wordt met 100 autonome motorvoertuigen die 365 dagen 24 uur per dag rond zouden rijden met een gemiddelde snelheid van 40 km/u (Kalra & Paddock, 2016).

¹⁴ Verenigde Staten, China, enz.

Het fysiek evalueren van alle mogelijke scenario's (combinatie van verschillende omgevingen, voertuigen en betrokkenheid van bestuurder) is echter onmogelijk. Om de veiligheid van autonome voertuigen in te schatten is een **combinatie van simulaties en pilootprojecten** nodig. Enkel simulaties of enkel pilootprojecten zijn te eenzijdig om een volledig beeld te krijgen van het veiligheidspotentieel. Testomstandigheden zijn bijvoorbeeld niet altijd representatief voor het onvoorspelbare gedrag van weggebruikers op de openbare weg.

Pilootproject Waymo – Verenigde Staten (Bellan, 2022).

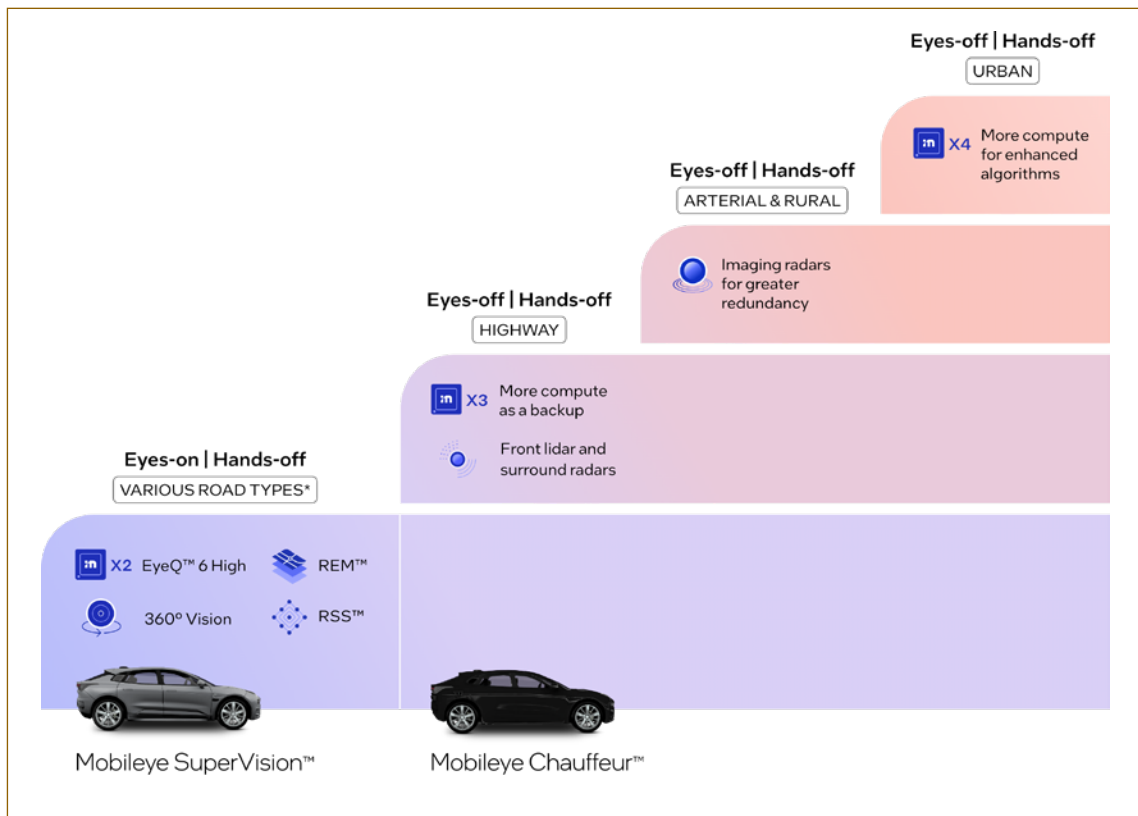
Sinds 2016 test Waymo zelfrijdende taxi's (*ride-hailing services*) in een bepaalde wijk in Phoenix, Arizona. In de beginperiode steeds met een *safety-driver* als back-up in het voertuig. Sinds 2020 ook zonder deze back-upchauffeur. In de loop van 2022 werd het gebied waarin deze voertuigen opereren uitgebreid naar een aantal andere wijken en het vliegveld van Phoenix. Tot voor kort was het gebruik van deze diensten voorbehouden voor werknemers. De ontwikkelingen versnelden zich in 2022 en 2023. In de loop van 2022 werd het gebruik van de voertuigen opengesteld voor een groter publiek. In 2023 werden de testgebieden verder uitgebreid (Phoenix, Los Angeles, San Francisco), wat leidde tot het toelaten van commerciële toepassingen.

Pilootproject Mobileye – Duitsland (Mobileye kicks off, 2023).

Het groene licht dat TÜV SÜD begin 2023 aan Mobileye gaf om autonome auto's in heel Duitsland in te zetten, stelt Mobileye in staat zijn MaaS-proefprojecten in Darmstadt en München te intensiveren. Robottaxi's en autonome shuttles moeten worden uitgerust met Mobileye-technologie, waarvoor diepgaande tests nodig zijn. In eerste instantie is er in deze voertuigen nog een *back-up safety-driver* aanwezig zijn. Als daarvoor de nodige goedkeuringen en vergunningen zijn verkregen zal nadien ook getest worden zonder deze back-up.

Het geavanceerde rijhulpsysteem staat bekend als "Mobility SuperVision™". Het bevat technologische bouwstenen die zijn getest, gevalideerd en overgenomen door toonaangevende autofabrikanten. Door stapsgewijs rekenkracht en actieve sensoren toe te voegen aan het systeem, werkt Mobileye aan het aanbieden van autonome voertuigen voor consumenten.

¹⁵ MaaS gaat om het plannen, boeken en betalen van al het mogelijke vervoer via apps. Bijvoorbeeld de deelfiets, -auto, -scooter, trein, tram, of (water)taxi. En zelfs de eigen auto of fiets. Maar vooral ook combinaties van al deze soorten vervoer (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, s.d.).



Figuur 3.2 – (Mobileye SuperVision, 2023)

3.4 Vertrouwen van consumenten in autonome voertuigen

Het is niet zo vanzelfsprekend om uitspraken te doen over het effect van automatisering van voertuigen op de verkeersveiligheid. Ongevallen met zelfrijdende voertuigen krijgen bovengemiddeld veel aandacht en geven daardoor misschien een eerder negatief beeld. Het besef dat autonome voertuigen net als menselijke bestuurders fouten kunnen maken bij het uitvoeren van hun taken lijkt te groeien. Daarentegen, waar de fouten van bestuurders als onvermijdelijk worden opgevat, worden fouten van autonome voertuigen (bijna) niet geaccepteerd.

Experimenten met zelfrijdende voertuigen die wel positief geëvalueerd worden, zijn noodzakelijkerwijs beperkt in tijd en ruimte en laten eigenlijk niet toe om veralgemeningen te maken. Desondanks blijkt dat het **vertrouwen van consumenten** in de veiligheid van zelfrijdende voertuigen wel toeneemt (figuur 3.3).



Figuur 3.3 – Why autonomous vehicles need a large-system approach to safety (Sun et al., 2021)

Het testen van voertuigen op de openbare weg is de meest **waarheidsgetrouwe manier** om de veiligheid van de voertuigen aan te tonen. Het is daarbij niet noodzakelijk om in volledig zelfrijdende modus te rijden. Testen met een menselijke bestuurder waarbij het algoritme (in zogenaamde **shadow mode**) de menselijke gedragingen observeert en vergelijkt met acties die het zelf zou ondernemen, kan ook al veel nuttige informatie opleveren. Het laat bovendien toe dat het algoritme wordt bijgestuurd.

Objectief cijfermateriaal kan er bijvoorbeeld mede voor zorgen dat scepsis onder het publiek over de verkeersveiligheid van autonome voertuigen kan worden weggenomen. Negatieve berichtgeving kan in een ander daglicht komen te staan.

Voor het verhogen van consumentenvertrouwen is een beoordeling door **Euro NCAP** eveneens een goede aanzet. Oorspronkelijk bestonden de Euro NCAP-testen uit een evaluatie van de passieve veiligheid van voertuigen aan de hand van botsproeven waarbij dummy's de bestuurder voorstellen. In een later stadium werd ook een evaluatie toegevoegd van de gevolgen van een ongeval voor andere inzittenden en voor een aangereden kwetsbare weggebruiker. Ondertussen beoordeelt Euro NCAP de voertuigen ook op (actieve) **assistentiesystemen** (2020 assisted driving tests, 2020; Euro NCAP, 2020).

3.5 Connectiviteit & communicatie

Experten zijn het er doorgaans over eens dat connectiviteit een **bijdrage kan leveren** aan het betrouwbaarder, efficiënter en veiliger functioneren van zelfrijdende voertuigen. Zo lijken autoconstructeurs vandaag twijfels te hebben of ISA-systemen die louter gebaseerd zijn op herkenning van het snelheidsregime door voertuigsensoren, voldoende betrouwbaar zijn (Van Doorselaet, 2022). Om een aanvaardbaar betrouwbaarheidsniveau te bereiken, moeten ook andere gegevensbronnen worden aangesproken (*crowdsourcing*, *digital maps*, enz.). waarvan de info dan op één of andere manier in het voertuig dient te raken.

Anderzijds wordt de noodzaak van connectiviteit dan weer in vraag gesteld door ervaringen met robotaxipilotprojecten (VS, China). Bij deze projecten zou connectiviteit niet veiligheidskritisch zijn en worden alle beslissingen in het voertuig genomen. Connectiviteit is er voor tussenkomst vanuit de verkeerscentrale als het voertuig daarom vraagt en voor klantenondersteuning.

Er is derhalve onenigheid of veiligheid afhankelijk dient te zijn van deze connectiviteit. Tussen “afhankelijk zijn van” en “bijdragen aan” bestaan er echter een hele reeks varianten.

In ieder geval zal het belangrijk zijn dat er duidelijke standaarden worden vastgelegd over deze connectiviteit, de bedrijfszekerheid en de veiligheid (cybersecurity en betrouwbaarheid). Binnen CEN/TC278 (*Road Transport and Traffic Telematics*), ISO/TC204 (*Intelligent Transport Systems*) en ETSI *TC Intelligent Transport Systems* worden onder meer standaarden ontwikkeld voor de uitwisseling van gegevens¹⁶.

De nu hoofdzakelijk visuele communicatie tussen voertuigbestuurders, voetgangers en fietsers is moeilijk te vatten in algoritmen en geautomatiseerde systemen. Voertuigen die worden toegepast in proefprojecten hanteren grote veiligheidsmarges en zijn zo goed als niet betrokken bij ongevallen met voetgangers of fietsers. Huidige systemen¹⁷ kunnen in heel wat gevallen correct tussenkomen in bijna-ongevallen. Het uitwisselen van informatie om gedragingen in te schatten en zonder bruske acties er correct op te reageren blijft daarentegen nog een aparte uitdaging. Studies suggereren dat voetgangers en fietsers (onvrijwillig) hun gedrag zouden kunnen aanpassen in interacties met AV of misschien moeten worden getraind om hier rekening mee te houden. Als het gedrag van fietsers en voetgangers inderdaad wijzigt, is het vanzelfsprekend bijzonder lastig om op basis van zulk veranderend gedrag systemen te automatiseren.

Als voertuigen **geconnecteerd** worden, moet ook rekening worden gehouden met bijkomende factoren. Het is niet ondenkbaar dat communicatie wegvalt of dat er – al dan niet kwaadwillig – foutieve informatie wordt doorgespeeld. Net als in andere toepassingen (luchtvaart, energie) lijkt het daarom beter om de werking van veiligheidskritische functies **niet afhankelijk te maken** van deze connectiviteit.

¹⁶ Bv. European Committee for Standardization, 2018-2022: gegevensuitwisselingsspecificaties voor verschillende ITS-diensten

¹⁷ AEB voetganger en AEB fietser meer info (AEB pedestrian, 2023)

3.6 Belgische gedragscode voor testen (Heyndrickx, 2016)

De FOD Mobiliteit en Vervoer stelde, in overleg met partners, een **gedragscode** op voor testen in België. Dit biedt een kader dat de rollen en verantwoordelijkheden vastlegt.

Deze gedragscode biedt richtsnoeren voor de organisaties die testen willen uitvoeren met technologieën voor rijkhulpsystemen en geautomatiseerde voertuigen op de openbare weg of op andere openbare plaatsen in België. Deze gedragscode is bestemd voor de volgende toepassingen:

- Het testen van rijkhulpsystemen en gedeeltelijk of zelfs volledig geautomatiseerde voertuigtechnologieën op de openbare weg of op andere openbare plaatsen in België.
- Het testen van een breed scala aan voertuigen, van kleinere geautomatiseerde pods en shuttles tot de traditionelere wegvoertuigen zoals auto's, bestelwagens, bussen of vrachtwagens.

Om tests op de openbare weg of op andere openbare plaatsen te kunnen uitvoeren, moet een aanvraagformulier worden ingevuld. Dat zal als basis dienen voor de beoordeling door de FOD Mobiliteit en Vervoer, om goedkeuring te verlenen aan prototypes van voertuigen.

Daarnaast is er een **gewestelijke toelating** nodig van de gewestelijke wegbeheerder om de infrastructuur te mogen gebruiken en onder welke randvoorwaarden dat is toegelaten (verkeersintensiteit, weersomstandigheden, al dan niet in de spits, enz.).

De **component infrastructuur** komt in de gedragscode enkel ter sprake in het deel "Bevoegde autoriteiten":

- "Iedere specifieke infrastructuurvereiste die als noodzakelijk wordt beschouwd in het kader van de tests, zoals de verkeerssignalisatie, moet worden gerealiseerd zoals overeengekomen met de wegbeheerder(s)".

Vooraleer voertuigen op de **openbare weg** of op andere openbare plaatsen getest mogen worden, moeten de organisaties aantonen dat de voertuigen en/of technologieën voorafgaandelijk en in voldoende mate werden getest op **afgesloten wegen** of testbanen. Deze tests moeten afdoende resultaten hebben opgeleverd om tests op de openbare weg of op andere openbare plaatsen te kunnen ondernemen zonder dat weggebruikers bijkomende risico's lopen.

De sensor- en controlesystemen van het voertuig moeten voldoende ontwikkeld zijn om op passende wijze te kunnen **reageren op alle soorten weggebruikers** die kunnen worden ontmoet tijdens de desbetreffende test. De organisaties moeten in het bijzonder aandacht besteden aan de meest kwetsbare weggebruikers, zoals personen met een handicap, slechtzienden of slechthorenden, voetgangers, (brom)fietsers, motorrijders, kinderen en ruiters.

Indien de situatie erom vraagt (dat kan bv. gerelateerd zijn aan weersomstandigheden, maar ook aan **infrastructuur**, moeten de bestuurders terug het stuur in handen kunnen nemen. In het deel "Proces voor de overgang tussen de automatische en de handmatige stand" wordt niet ingegaan op de situaties (en dus ook niet op de infrastructuur).

Er wordt wel gemeld dat het beheer van de overgang van handmatige besturing naar automatische stand een belangrijk onderdeel van de veiligheid van het testen van geautomatiseerde voertuigen is en dat het verzekeren van minimale overgangperiodes tussen handmatige en automatische stand, met zo min mogelijk risico, een belangrijk onderdeel is van het ontwikkelingsproces van het voertuig en het opzetten van de beoogde testen. De tekst eindigt met: "het is dan ook voor de hand liggend dat dit aspect moet worden **ontwikkeld en getest op afgesloten wegen** of testbanen vooraleer de tests op de openbare weg of op andere openbare plaatsen doorgaan".

3.7 Conventie van Genève

De Conventie van Genève inzake het wegverkeer (Geneva Convention on Road Traffic, 1949) is een internationaal verdrag dat tot doel heeft het internationale wegverkeer te vergemakkelijken en de verkeersveiligheid te verhogen door het aannemen van eenvormige verkeersregels. Het bevat afspraken over onder andere verkeersregels, wederzijdse toelating door partijen van voertuigen uit andere verdragsstaten en (inter)nationale rijbewijzen.

Op 14 juli 2022 trad **artikel 34 bis** van de Conventie van Wenen (Vienna Convention on Road Traffic, 2022) in werking, dat zelfrijdende voertuigen toelaat in het verkeer in Europa. Hiermee kan het onderzoek in een versnelling komen zodra de lidstaten het opnemen in de nationale wetgeving. Er wordt in het desbetreffende artikel toegestaan dat de bestuurder het stuur kan loslaten bij autonoom rijden op SAE-niveau 3. De bestuurder moet echter zijn ogen op de weg blijven houden en op ieder ogenblik de besturing van het voertuig kunnen overnemen. Er moet bovendien aan meerdere voorwaarden worden voldaan: tussen de twee rijrichtingen moet er een fysieke scheiding zijn, de maximumsnelheid is 60 km/u en er mogen geen voetgangers of fietsers op de weg zijn¹⁸.

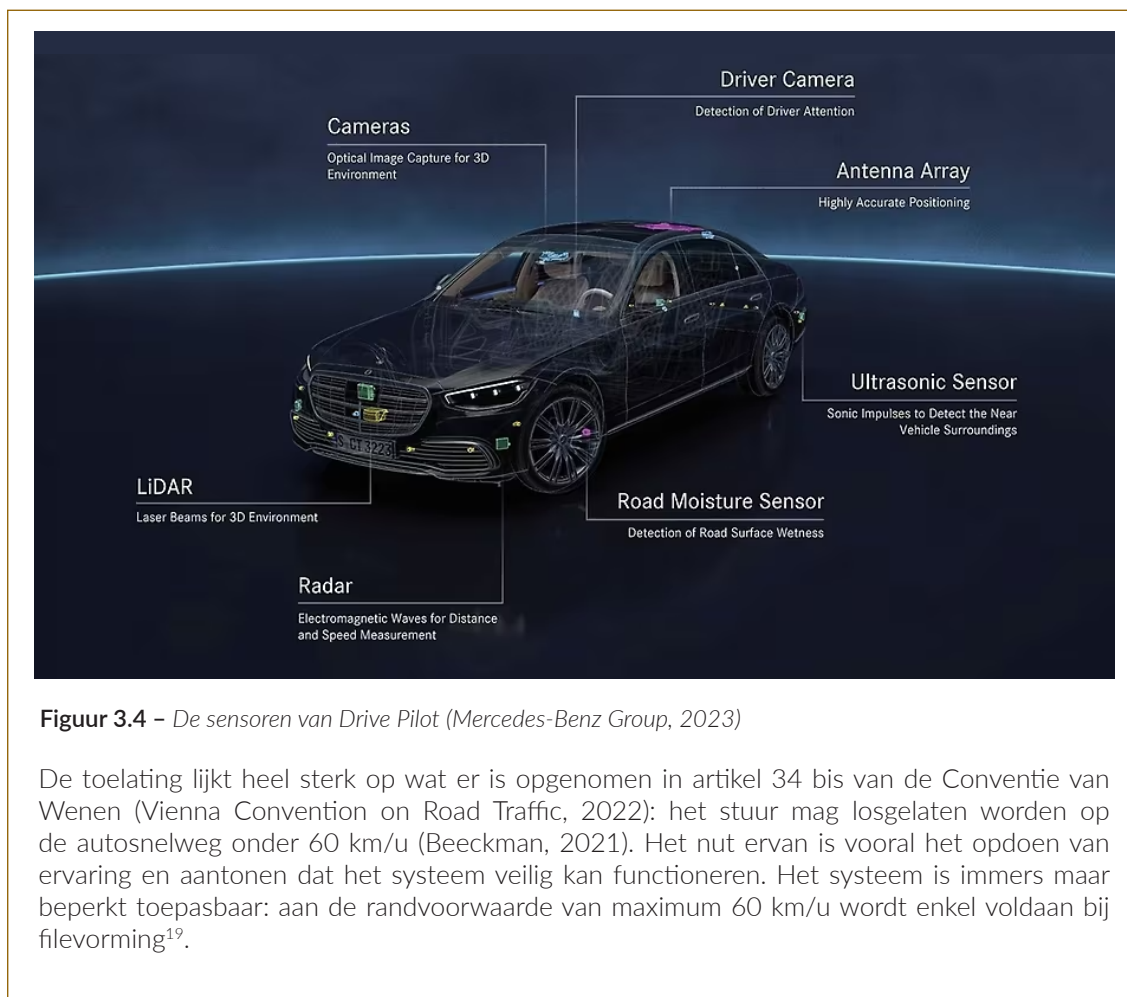
Drive pilot van Mercedes

In december 2021 werd Mercedes-Benz het eerste autobedrijf ter wereld dat voldeed aan de strenge wettelijke eisen van de internationale UN-Regulation 157 (United Nations, 2021) voor een Level 3-systeem dat voorwaardelijk geautomatiseerd rijden mogelijk maakt.

Hierdoor kan de autoconstructeur deze functionaliteit (handsfree rijden aan snelheden tot 60 km/h) aanbieden op de Duitse markt, waar het gebruik van bepaalde SAE L3 functionaliteit is toegelaten op verschillende (delen van) autosnelwegen (in totaal op 13.191 km). Om dat mogelijk te maken gebruikt het voertuig meerdere sensoren.

In 2016 was er een doorbraak op het gebied van **geautomatiseerde rijtechnologieën** met de inwerkingtreding van een amendement op de Conventie inzake het wegverkeer dat het mogelijk maakt om de rijtaken aan het voertuig over te dragen, op voorwaarde dat deze technologieën in overeenstemming zijn met de voertuigvoorschriften van de Verenigde Naties of kunnen worden overschreven of uitgeschakeld door de bestuurder (50 years on, 2018).

¹⁸ Op 30 mei 2022, nog voor het in werking treden van artikel 34 bis, werd al voorgesteld deze snelheidsbeperking op te trekken naar 130 km/h indien het voertuig ook in staat is om bij snelheden hoger dan 60 km/h op een veilige manier van rijstrook te veranderen (United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Inland Transport Committee, Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles, 2022).



Figuur 3.4 – De sensoren van Drive Pilot (Mercedes-Benz Group, 2023)

De toelating lijkt heel sterk op wat er is opgenomen in artikel 34 bis van de Conventie van Wenen (Vienna Convention on Road Traffic, 2022): het stuur mag losgelaten worden op de autosnelweg onder 60 km/u (Beeckman, 2021). Het nut ervan is vooral het opdoen van ervaring en aantonen dat het systeem veilig kan functioneren. Het systeem is immers maar beperkt toepasbaar: aan de randvoorwaarde van maximum 60 km/u wordt enkel voldaan bij filevorming¹⁹.

3.8 Vienna Convention on Road Signs and Signals

De *Vienna Convention on Road Signs and Signals*, 1968, ondertekend door meer dan 60 landen in de wereld (waaronder België) schrijft een **geharmoniseerd systeem** van verkeersstekens en verkeersborden voor op basis van het gebruik van vormen, kleuren en symbolen. Het bevat ook de eisen voor wegmarkeringen en definieert de verschillende soorten markeringen en hun kleuren.

In de voorbije jaren hebben heel wat landen nieuwe verkeersregels en verkeersborden ingevoerd. De *Expert Group on Road Signs and Signals*²⁰ werkt aan een update van de Conventie van 1968; onder meer om de stelselmatig ontstane verschillen zoveel mogelijk weg te werken. Het Verdrag evolueert eveneens om te voldoen aan **nieuwe verkeersveiligheidsbehoeften**.

¹⁹ Onder normale omstandigheden (geen file, geen wegenwerken) geldt er op de **Autobahn** sinds 1978 een adviessnelheid van 130 km/h, en een minimumsnelheid van 90 km/h op de middelste rijstrook en 110 km/h op de linkerrijstrook.

²⁰ Zie UNECE/Road Traffic Safety/Global Forum for Road Traffic Safety (WP.1)/Expert Group on Road Signs and Signals. <https://unece.org/transport/road-traffic-safety>

3.9 Wat zegt het cijfermateriaal?

Volwaardige conclusies kunnen er op basis van statistieken nog niet getrokken worden, vanwege het beperkt beschikbare cijfermateriaal. Naar gelang er meer autonome voertuigen worden getest en gemonitord, komen er meer cijfers beschikbaar. Het vergelijken van cijfers is enkel zinvol als de vergelijking wordt gecontextualiseerd, bijvoorbeeld op het vlak van technologische progressie.

Artikels 2019/2020

Cijfers uit artikels van 2020 (Petrovic, 2020; Wang et al., 2020) gebaseerd op data van 2014-2018 wezen op het volgende:

- dat zelfrijdende voertuigen **meer betrokken** zijn bij ongevallen dan niet zelfrijdende voertuigen;
- dat de meeste ongevallen bovendien gebeuren met het zelfrijdende voertuig in “automatische” modus;
- dat bij de meeste ongevallen de **oorzaak niet bij het zelfrijdende voertuig** lag maar bij de andere niet geautomatiseerde verkeersdeelnemer (kwetsbare weggebruiker (VRU) of voertuig zonder automatisatie);
- dat de **ernst van ongevallen** waarbij zelfrijdende voertuigen betrokken zijn, lager is dan gemiddeld; dat analyse van het type aanrijdingen aantoont dat zelfrijdende voertuigen gemiddeld meer betrokken zijn bij **kop-staart aanrijdingen** (waarbij het niet geautomatiseerde voertuig inrijdt op het geautomatiseerde voertuig);
 - wellicht is het niet vertrouwd zijn van bestuurders met het behoudsgezinde rijgedrag van een zelfrijdend voertuig (volledig volgens de verkeersregels) een verklaring;
- dat geautomatiseerde voertuigen minder betrokken zijn bij **zijdelingse aanrijdingen of ongevallen met voetgangers**. Zelfrijdende voertuigen naderen eerder behoedzaam mogelijke conflictsituaties en zouden daardoor beter in staat zijn dit type ongevallen te vermijden.

Onderzoek uit China

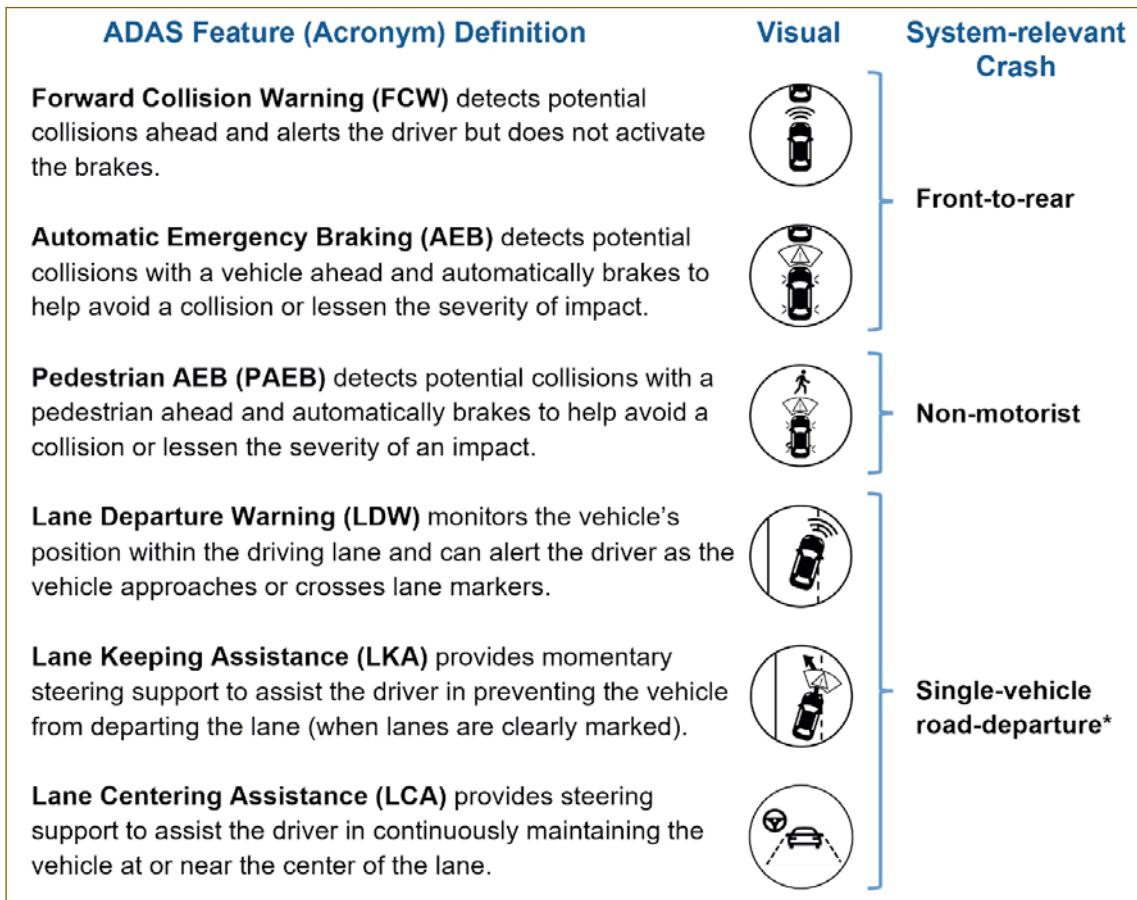
Chinees onderzoek uit 2022 verzamelde verschillende ongevallencijfers met recentere statistieken (Ren et al., 2022). Meerdere factoren die van invloed zijn op de ernst van crashes werden bestudeerd (omgevingsvariabelen, wegvariabelen en voertuigvariabelen).

- De aanwezigheid van **fietspaden** verhoogt de kans op een hoge ongevalsernst (door de gemiddeld hogere ernst van ongevallen met fietsers) in vergelijking met een weg met enkel gemotoriseerd verkeer. Anderzijds blijken de geavanceerde sensoren en algoritmen van autonome voertuigen beter in staat om fietsers tijdig te detecteren dan de menselijke bestuurders van conventionele voertuigen waardoor (de toename van) de kans op een ongeval tussen fietser en AV minder hoog is dan tussen fietser en conventioneel voertuig.
- **Regen, gemengd landgebruik en 's nachts** rijden zouden in de “autonome modus” een hoge mate van letselernst veroorzaken, maar in de “conventionele rijmodus” waren hun effecten niet significant.
- **Meer rijstroken** zouden de kans op een ernstig ongeval in de conventionele modus vergroten vanwege de verkeerde beslissingen van menselijke bestuurders. Autonome voertuigen kunnen zulke fouten effectief voorkomen.
 - Meer rijstroken verhogen de kans op een ernstig ongeval, omdat ze gewoonlijk een hogere snelheid betekenen.

- De voordelen van autonome voertuigen, zoals het vermijden van bestuurdersfouten en een meer aangepaste snelheid, zorgen ervoor dat ze beter presteren dan menselijke bestuurders in het scenario met meerdere rijstroken.
- De kans op een ernstig ongeval op wegen met aan beide zijden een **oversteekplaats** is met 27 % groter in vergelijking met een rijbaan zonder oversteekplaats of een weg met slechts één oversteekplaats aan de zijkant.
 - Veel onderzoek naar de interactie tussen voetgangers en autonome voertuigen heeft aangetoond dat het vermogen van autonome voertuigen om reacties van voetgangers te detecteren, te begrijpen en gepast te reageren nog niet volledig is.
 - Zonder communicatie tussen voetganger en bestuurder (bijvoorbeeld oogcontact) wordt het gedrag van voetgangers onvoorspelbaarder.
- De impact van de **daily vehicle flow** (DVF) op de ernst van een ongeval in de autonome rijmodus was kleiner dan in de conventionele modus.
 - Autonome voertuigen die zijn uitgerust met geavanceerde detectieapparatuur kunnen een grotere afstand waarnemen en zijn superieur aan mensen in het herkennen van specifieke doelen (bv. gezicht, tekst, enz.).

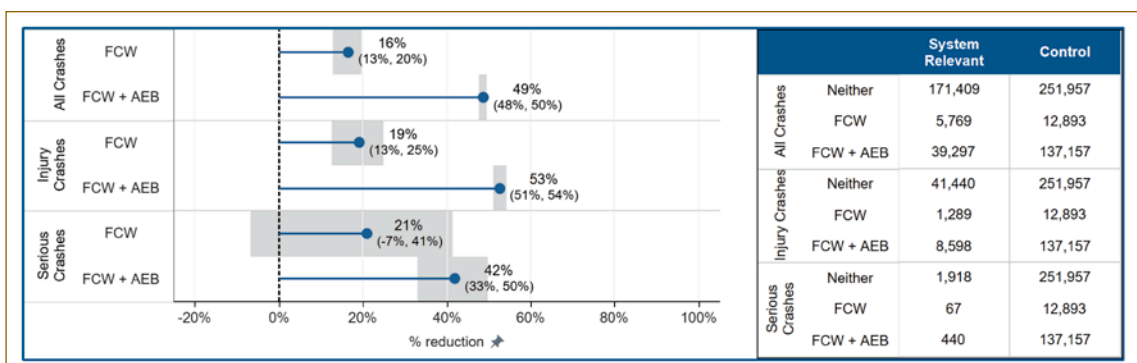
PARTS studie

Ongevallenanalyse van ADAS werd eveneens uitgevoerd in het kader van PARTS (Partnership for Analytics Research in Traffic Safety [PARTS], 2022).



Figuur 3.5 – ADAS bestudeerd in de PARTS studie (PARTS, 2022)

Met name voertuigen die waren uitgerust met FCW (**Forward Collision Warning**) + AEB (**Automatic Emergency Braking**) vertoonden een substantiële vermindering van alle ongevallen met ongeveer de helft. De reducties voor letselongevallen waren iets hoger dan voor alle ongevallen. Voor enkel ernstige ongevallen, leveren FCW + AEB nog een geschatte reductie van 42 % op. Enkel FCW beperkt het aantal ernstige ongevallen nog steeds met 21 %.



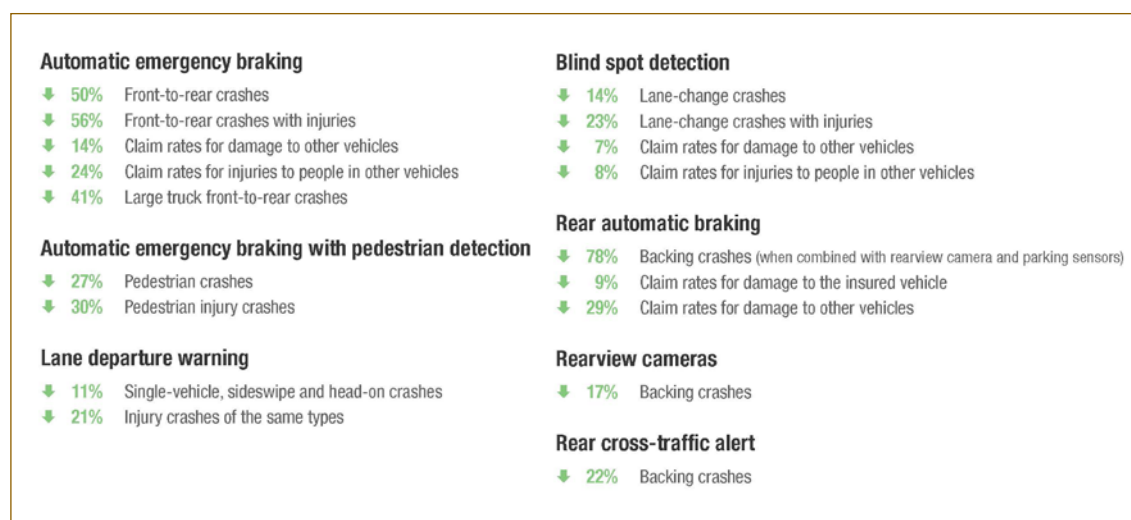
Figuur 3.6 – Veiligheidswinst van FCW en AEB (PARTS, 2022)

Deze PARTS-studie vond geen statistisch significant resultaat voor *Pedestrian Automatic Emergency Braking*.

In combinatie met LDW (*Lane Departure Warning*) verminderden ADAS-functies voor actief rijstrookbeheer (LKA – *Lane Keeping Assistance* en LCA – *Lane Centering Assistance*) de kans op alle ongevallen met ongeveer een tiende.

Twee **wetenschappelijke organisaties uit de Verenigde Staten**, HLDI (*Highway Loss Data Institute*) en IIHS (*Insurance Institute for Highway Safety*), bestudeerden samen de voordelen in de praktijk van technologieën om ongevallen te voorkomen (Insurance Institute for Highway Safety [IIHS] & Highway Loss Data Institute [HLDI], 2023).

Ze constateerden een hoge relatieve veiligheidswinst bij automatisch remmen in geval van achteruit rijden en voorwaartse botsingswaarschuwing. Ze stellen logischerwijs dat de technologieën alleen effectief kunnen zijn als ze worden gebruikt, en dat passende reacties van de bestuurder en acceptatie van de technologieën cruciaal zijn voor hun succes.



Figuur 3.7 – *Real world benefits of crash avoidance technologies (IIHS & HLDI, 2023)*

IIHS stelt echter dat crashgegevens geen vergelijkbare voordelen hebben opgeleverd voor de **Level 2 gedeeltelijke automatiseringssystemen** die op de markt zijn. Integendeel, IIHS-onderzoek heeft aangetoond dat in ieder geval sommige ontwerpen het gevaar op de weg kunnen vergroten door bestuurders te sussen tot zelfgenoegzaamheid achter het stuur (Drivers let their focus slip, 2020; IIHS president, 2023).

Tot slot, toont **Frans simulatieonderzoek (Pilet e.a., 2021)** aan dat een vermindering van ongeveer 60 % van het aantal letselongevallen en dodelijke ongevallen kan worden verwacht door alle LV's (*light vehicles*) op de wegen in Frankrijk te vervangen door AV's. Naargelang de betrokken actieve weggebruiker zijn er verschillen: het effect was lager voor ongevallen tussen LV's en fietsers en gemotoriseerde tweewielers en hoger voor ongevallen tussen LV's.

Onderstaande tabellen maken onderscheid naar het **vervangingsniveau** door autonome voertuigen (10 %, 50 %, 100 %). Er worden telkens twee waarden genoemd: wanneer experten het oneens waren, geeft het onderzoek gemiddelden van lage (ongunstige respons van experten, UF) en hogere (gunstige respons van experten, F) mogelijk vermeden ongevalspercentages.

Replacement level	Confidence interval	Crash configurations				
		LV/Pedestrian (%)	LV/Cyclist (%)	LV/M2W (%)	LV/LV (%)	LV/Truck (%)
10% AV	UF mean	6.6	3.2	2.7	8.5	4.3
	F mean	6.8	4.8	7.3	10.9	
50% AV	UF mean	33.0	15.5	13.9	40.0	21.5
	F mean	34.1	23.9	37.4	48.5	
100% AV	UF mean	66.2	31.2	27.5	72.6	43.7
	F mean	68.5	47.7	75.0	82.6	
	UC UF	14.5	20.8	12.6	15.1	20.14
	UC F	14.5	24.5	13.1	14.3	

AV, Autonomous Vehicle; LV, Light Vehicle; M2W, Motorized-Two-Wheeler; UF, Unfavourable; F, Favourable; UC, Uncovered
 *% on 100% injury crashes within each configuration

Tabel 3.1 – Gemiddeld percentage van voorkomen **letselongevallen** per configuratie (Pilet e.a., 2021)

Replacement level	Confidence interval	Crash configurations				
		LV/Pedestrian (%)	LV/Cyclist (%)	LV/M2W (%)	LV/LV (%)	LV/Truck (%)
10% AV	UF mean	6.4	3.4	2.8	10.4	6.4
	F mean	7.0	4.2	7.4	11.7	
50% AV	UF mean	31.8	15.4	13.9	47.8	31.9
	F mean	34.8	19.6	37.1	53.0	
100% AV	UF mean	63.3	30.8	27.8	85.2	63.8
	F mean	69.3	39.6	74.0	92.1	
	UC UF	17.5	7.5	2.1	2.5	8.80
	UC F					

AV, Autonomous Vehicle; LV, Light Vehicle; M2W, Motorized-Two-Wheeler; UF, Unfavourable; F, Favourable; (here results are the same for F and UF); UC, Uncovered
 *% on 100% fatal crashes within each configuration

Tabel 3.2 – Gemiddeld percentage van voorkomen **dodelijke ongevallen** per configuratie (Pilet e.a., 2021)

Hoofdstuk 4

Beleidsdoelstellingen op het vlak van verkeersveiligheid

We zagen in het voorgaande hoofdstuk al dat ongevalsoorzaken divers kunnen zijn en dat het veelal om een combinatie van factoren gaat. Voertuigen worden almaar meer uitgerust met rijtaakondersteunende systemen (ADAS). Op termijn zou dit kunnen leiden tot het vervangen van een bestuurder door een zelfrijdend systeem (ADS).

Het zal echter nog lang duren voordat de systeemverandering naar autonome mobiliteit ten volle kan worden gerealiseerd en de vermeende verkeersveiligheidswinst kan worden gerealiseerd. In beleidsdocumenten, waarin langere termijn-doelstellingen naar voren worden geschoven, zal er geleidelijk aan meer aandacht moeten gaan naar geconnecteerde en in tweede instantie ook naar volledig autonome voertuigen. In situaties waar zelfstandige zelfrijdende systemen nog niet voldoende betrouwbaar zijn, kan – mits het beschikbaar zijn van een betrouwbare verbinding – *remote driving* een tussenoplossing zijn²¹.

De ontplooiing van autonome voertuigen kan echter niet los van het volledige vervoerssysteem worden gezien. Tegenwoordig wordt bij het begrijpen van de oorzaken van verkeersongevallen gekeken naar het volledige systeem.

De term die in beleidsdocumenten gebruikt wordt voor de **integrale aanpak** is **Safe System approach**, waar voorheen sprake was van *Human Error approach*. In de *Safe System* benadering worden de functie, het ontwerp, de inrichting en de snelheidsbeperkingen van wegen zodanig op elkaar afgestemd dat menselijke fouten geen doden en zwaargewonden tot gevolg hebben. De benadering gaat uit van een gedeelde verantwoordelijkheid.

²¹ *Remote driving* is een onderdeel van wat bekend staat als “teleoperatie”. Teleoperatie is de paraplu die toezicht, assistentie en aansturing van autonome voertuigen omvat via een teleoperator vanaf een externe locatie (How does remote driving work?, 2022)

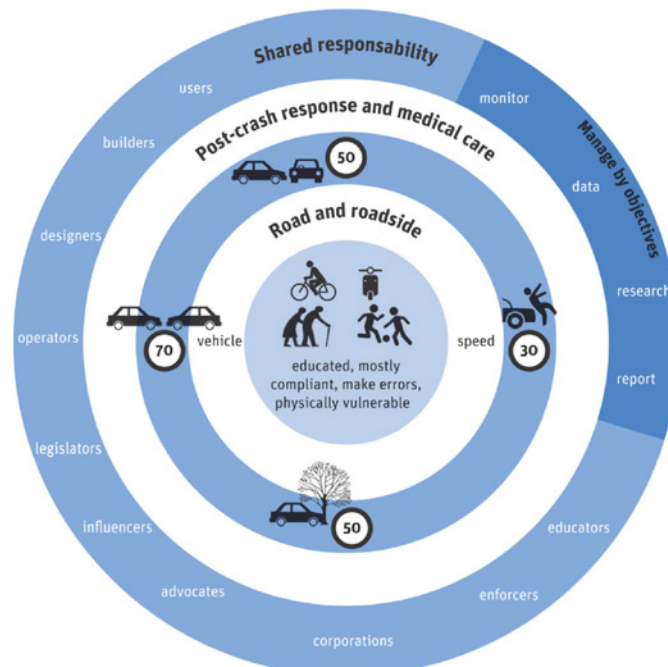
Safe System Approach (ITF, 2016)

In de Safe System Approach komen vier principes samen die het denken en het beleid sturen om het ontwerp en de werking van het wegennet zo te sturen dat er uiteindelijk geen doden en ernstig verkeersgewonden vallen (figuur 4.1).

Vier principes liggen ten grondslag aan een Veilig Systeem in het wegverkeer:

1. Mensen maken fouten die kunnen leiden tot verkeersongevallen.
2. Het menselijk lichaam heeft een beperkt fysiek vermogen om botskrachten te tolereren voordat er lichamelijk letsel optreedt.
3. Er bestaat een gedeelde verantwoordelijkheid tussen degenen die wegen en voertuigen ontwerpen, bouwen, beheren en gebruiken en zorg verlenen na een ongeval om te voorkomen dat ongevallen leiden tot ernstig letsel of overlijden.
4. Alle delen van het systeem moeten worden versterkt om hun effecten te vermenigvuldigen. Als een onderdeel uitvalt, zijn weggebruikers nog steeds beschermd.

Een veilig systeem vereist inzicht in en beheer van de complexe en dynamische interactie tussen snelheden, voertuigen, weginfrastructuur en gedrag van weggebruikers op een holistische manier. In tegenstelling tot sommige benaderingen accepteert een Safe System in principe geen afweging tussen verkeersveiligheid en andere prioriteiten, waarbij verkeersdoden en zwaargewonden worden beschouwd als een prijs die moet worden betaald.



Figuur 4.1 – Grafische voorstelling van de Safe System Approach (ITF, 2016)

Het midden van figuur 4.1 toont een aantal weggebruikers waaraan specifieke aandacht moet worden besteed, omdat ze fysiek kwetsbaar zijn en omdat ervan uitgegaan moet worden dat fouten maken menselijk is.

De tweede cirkel van het model geeft de relatie weer tussen snelheid, wegen en berm en voertuigen door gebruikers aan te sporen zich veilig te gedragen in het verkeer, en actie te ondernemen om ervoor te zorgen dat een ongeval geen ernstige gevolgen voor letsel heeft. Deze twee resultaten worden bereikt door de interactie van het fysieke ontwerp, de lay-out en gebruiksomstandigheden van de weg en langs de weg, en voertuigen om veilige werksnelheden, veilige voertuigbediening en veilige resultaten mogelijk te maken. Voertuigen in een *Safe System* gebruiken **actieve technologie** (bv. intelligente snelheidsassistentie of systemen om aanrijdingen te vermijden) om de bestuurder te helpen actie te ondernemen (of in te grijpen als hij dat niet doet), evenals secundaire bescherming tegen aanrijdingen voor inzittenden en mensen buiten het voertuig.

De derde cirkel vertegenwoordigt het tweede *Safe System*-principe dat het menselijk lichaam een beperkt fysiek vermogen heeft om botskrachten te tolereren. Een veilig systeem probeert het risico op ernstige schade te verkleinen door mogelijke oorzaken te anticiperen en de drie componenten van de tweede cirkel en hun interacties te beheersen om botsingen te voorkomen waarbij de impactkrachten gevaarlijke niveaus overschrijden.

De vierde cirkel in het *Safe System*-diagram heeft betrekking op medische zorg na een ongeval. De gezondheidsresultaten voor slachtoffers van een ongeval zijn afhankelijk van het vermogen van het systeem voor medische noodhulp om snel eerstehulpverleners medische hulp te lokaliseren en te verlenen om het slachtoffer te stabiliseren en de persoon vervolgens naar de juiste spoedeisende ziekenhuisbehandeling te vervoeren.

Samen illustreren de tweede en vierde cirkel het derde principe van een veilig systeem, namelijk dat alle delen van het systeem moeten worden versterkt om hun effecten te vermenigvuldigen; en als een onderdeel uitvalt, zijn weggebruikers nog steeds beschermd.

De vijfde en buitenste cirkel van het diagram illustreert het vierde principe van gedeelde verantwoordelijkheid voor een veilig systeem: er bestaat een gedeelde verantwoordelijkheid tussen degenen die wegen en voertuigen ontwerpen, bouwen, beheren en gebruiken en zorgen voor nazorg om ongevallen met ernstig letsel te voorkomen of de dood.

Concreet bij een **ongeval waarbij een voertuig uit de bocht gaat**: een bestuurder heeft misschien te snel gereden omdat het wegbeeld daartoe uitnodigde.

- De oorzaak (te snel rijden) ligt dan niet louter bij de bestuurder maar ook bij de omgeving. In de **Safe System approach** wordt er rekening mee gehouden dat menselijke bestuurders fouten maken.
- Maatregelen aan de voertuigzijde (bv. ISA/LKA) en aan infrastructuur (bv. aangepast wegbeeld) moeten de kans op fouten (te snel rijden) beperken. Als er ondanks deze maatregelen toch een ongeval gebeurt, kunnen andere ingrepen (vergevingsgezinde inrichting van de berm) bijdragen aan het beperken van de gevolgen van het ongeval.
- Ook in deze integrale benadering blijft de bijdrage van de factor **mens** belangrijk. Met de hulp van nieuwe technologie wordt getracht deze bijdrage verder te beperken of op zijn minst de wispelturigheid van menselijk gedrag enigszins te compenseren.
- Momenteel worden vooral voertuigen uitgerust met **nieuwe technologie**. In de toekomst echter wordt ook de omgeving op één of andere manier voorzien van nieuwe technologie om de verschillende componenten van het systeem op een zo veilig en betrouwbaar mogelijke manier te laten samenwerken.

4.1 Richting nul verkeersdoden

In beleidsdocumenten wordt meer en meer opgenomen dat het uiteindelijk doel is om te komen tot **nul verkeersdoden tegen 2050**. Dat is een breuk met het verleden, waarin doelstellingen werden bepaald die een aantal verkeersdoden als het ware “accepteerden” als *collateral damage* van het verkeerssysteem. Het idee is nu dat het verkeerssysteem uiteindelijk zo georganiseerd kan en moet worden dat er geen verkeersdoden meer zijn te betreuren.

Dergelijk beleid is geïnitieerd in landen die al vroeg verkeersveiligheid als een zeer hoge prioriteit hebben gedetecteerd. Het Zweedse beleid met de niets aan verbeelding overlatende titel **Vision Zero**, dat alweer uit 1994 stamt, geldt als eerste en voornaamste inspiratie voor het verkeersveiligheidsbeleid van heel wat landen en overkoepelende organisaties zoals de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), de Verenigde Naties (VN) en de Europese Unie (EU).

4.2 Wereldgezondheidsorganisatie en de Verenigde Naties

In september 2020 heeft de Algemene Vergadering van de VN resolutie A/RES/74/299 “Verbetering van de wereldwijde verkeersveiligheid” (UN General Assembly, 2020) aangenomen, waarin het decennium van actie voor verkeersveiligheid 2021-2030 wordt afgekondigd, met als ambitieuze doelstelling om ten minste **50 % van de verkeersdoden en gewonden te voorkomen tegen 2030**.

De WHO en de regionale VN-commissies hebben, in samenwerking met andere partners in de VN-samenwerking op het gebied van verkeersveiligheid, een globaal plan voor het decennium van actie ontwikkeld, dat in oktober 2021 werd vrijgegeven.

In het plan staat een deel over nieuwe technologieën, getiteld *Adapting technologies to the Safe System* (WHO & UN Regional Commissions, 2021). De daarin vermelde elementen zijn vrij algemeen en sterk geredeneerd vanuit de autotechnologie en de gebruikte veiligheidssystemen.

Er wordt geredeneerd dat de **autotechnologie** verandert in een ongekend tempo.

- Hoewel er discussie is over het **potentieel van opkomende technologieën**, redden geavanceerde rijkhulpsystemen, waaronder elektronische stabiliteitscontrole, waarschuwingen bij het wisselen van rijstrook en automatisch noodremmen al levens in veel landen. Toekomstige geautomatiseerde voertuigfunctionaliteiten worden ontwikkeld die mogelijk nog meer levens zullen redden.
- **V2V en V2I communicatie** kan ook bijdragen aan veiligere en duurzamere mobiliteit. Deze mogelijkheid kan met name gunstig zijn voor de veiligheid van voetgangers, fietsers en gemotoriseerde tweewielers. Soortgelijke technologie kan ook routeplanning mogelijk maken om congestie te verminderen, emissies te verminderen en de veiligheid te optimaliseren.
- Het stimuleren van de ontwikkeling van veiligheidstechnologie die geschikt zou zijn in een breed scala van omgevingen, is deel van de uitdaging.
- Het andere deel heeft betrekking op het managen van de technologische revolutie en de mogelijke impact – zowel positieve als negatieve – op de verkeersveiligheid. Toenemende connectiviteit en andere mobiele technologieën creëren **nieuwe kansen en uitdagingen** die beoordeling en actualisering van beleid, regelgeving en verkeerswetten vereisen.

Er wordt specifiek naar **infrastructuur** een beeld geschetst van wat belangrijk is (o.a. de minimumnormen voor basissenmerken). Pas op het eind van het deel over nieuwe technologieën (WHO & UN Regional Commissions, 2021) wordt er iets gezegd over de verkeersveiligheidsaspecten van autonome voertuigen en infrastructuur.

- Minimale technische infrastructuurnormen zijn verplicht, om de veiligheid te verbeteren van voetgangers, fietsers, motorrijders, inzittenden van voertuigen, openbaar vervoer gebruikers, goederenvervoerders en andere mobiliteitsgebruikers.
- Deze standaarden moeten basissenmerken bevatten, zoals verticale en horizontale signalisatie (verkeersborden en wegmarkeringen); voetpaden; veilige oversteekplaatsen; fietspaden; motorfietsrijstroken; busrijstroken; veilige bermen; scheiding van verschillende modi van verkeer; mediane scheiding van hogesnelheidsverkeer; kruispuntontwerp; en snelheidsbeheer geschikt voor de locatie, de gewenste voorziening en het soort verkeer.
- De **fysieke en digitale infrastructuurbehoeften** voor geavanceerde technologieën voor bestuurdersassistentie en **autonome voertuigen** dienen te worden **gespecificeerd**.

4.3 Beleid van de Europese Unie

De Europese Unie (European Parliament resolution P9_TA[2021]0407, 2021) neemt in haar verkeersveiligheidsbeleid heel wat overwegingen mee, zoals:

- dat er nieuwe trends en uitdagingen zijn op het gebied van **automatisering** die enorme gevolgen kunnen hebben voor de verkeersveiligheid;
- dat het toenemende verschijnsel van afleiding door mobiele apparaten moet worden aangepakt;
- dat in de nabije toekomst de aanwezigheid van zowel voertuigen met een breed scala aan **geautomatiseerde/geconnecteerde** onderdelen als traditionele voertuigen in gemengd verkeer een nieuw risico zal vormen, met name voor kwetsbare weggebruikers zoals motorrijders, fietsers en voetgangers;
- dat technologische vooruitgang, connectiviteit, automatisering en de deeleconomie nieuwe mogelijkheden bieden voor de verkeersveiligheid en voor het aanpakken van congestie, met name in stedelijke gebieden;
- dat het ontwikkelen van synergieën tussen veiligheids- en duurzaamheidsmaatregelen en het nastreven van de *modal shift* naar duurzame wijzen van openbaar vervoer en actieve mobiliteit kan leiden tot minder CO₂-emissies, de luchtkwaliteit kan verbeteren en de ontwikkeling kan bevorderen van een actievere en gezondere levensstijl.

Dit soort overwegingen bij het maken van beleid heeft geleid tot het EU-beleidskader voor verkeersveiligheid 2021-2030. Hierin staan onder meer volgende aansprekende **doelstellingen**:

- uiterlijk in 2050 een cijfer voor het aantal verkeersdoden en het aantal zwaargewonden op de wegen in de EU realiseren dat **nagenoeg nul** is (*Vision Zero*);
- middellange termijn: het aantal doden en zwaargewonden tegen 2030 verminderen (met 50 % ten opzichte van 2020);
- resultaatdoelstellingen bepalen tegen uiterlijk 2023 met gebruik van de Safe System approach en een EU-wijde geharmoniseerde methode voor *Key Performance Indicators* (KPI's).

Hetzelfde beleidskader doet ook een aantal **verzoeken** die van belang kunnen zijn voor autonome voertuigen, zoals:

- Verzoek aan de Commissie en lidstaten om de werkzaamheden te versnellen met betrekking tot **EU-specificaties voor de prestaties van verkeersborden en wegmarkeringen**, om het pad te effenen voor een grotere automatisering van voertuigen²².
 - Het Parlement wijst nogmaals op het belang van de prestaties van verkeersborden en wegmarkeringen, waaronder de plaatsing, de zichtbaarheid en het reflectievermogen ervan, met name voor de doeltreffendheid van rijhulpsystemen, zoals intelligente snelheidsondersteuning en rijstrookassistentie.
 - Het Parlement benadrukt dat het belangrijk is infrastructuur te gebruiken waarmee wegen worden aangelegd die voor zich spreken, **correct rijgedrag afdwingen** en “vergevingsgezind” zijn, ter wille van de veiligheid van alle deelnemers aan het wegverkeer, met name in gevaarlijke gebieden of gebieden met een aanzienlijk aantal kwetsbare weggebruikers.
 - Verzoek aan de Commissie een nieuw, **geharmoniseerd regelgevingskader voor geautomatiseerde auto's** voor te stellen om door middel van uitgebreide tests, met inbegrip van reële rijomstandigheden, te waarborgen dat geautomatiseerde auto's functioneren op een manier die volstrekt veilig is voor de bestuurders ervan en andere weggebruikers, met name wat de interactie ervan betreft met conventionele voertuigen en kwetsbare weggebruikers.
 - Verzoek aan de Commissie intussen de risico's voor de verkeersveiligheid te beoordelen van de momenteel **beschikbare rijhulpsystemen**, zoals overmatige afhankelijkheid en afleiding van bestuurders.
 - Verzoek aan de Commissie de invoering te overwegen van de vereiste om de mobiele en elektronische apparaten van bestuurders uit te rusten met een “veiligrijdenmodus” en de standaardinstallatie te overwegen van andere technologische instrumenten om afleiding tijdens het rijden te beperken.
 - Het Parlement benadrukt dat externe factoren en opkomende maatschappelijke trends ongekende uitdagingen voor de verkeersveiligheid opleveren in het kader van de EU-strategie voor 2030 en daarna.
 - Ze merkt op dat de EU de weg moet vrijmaken om **geconnecteerde en geautomatiseerde voertuigen te gepasten tijde in te voeren** en de mogelijke risico's moet beoordelen wanneer deze voertuigen worden gecombineerd met traditionele voertuigen in gemengd verkeer en met kwetsbare weggebruikers.
 - Ze verzoekt de Commissie grondig de impact te beoordelen van het grotere aantal geautomatiseerde voertuigen op het verkeer in stedelijke gebieden en op het milieu.
 - Ze benadrukt dat het nodig kan zijn **infrastructuur te moderniseren** om te garanderen dat geautomatiseerde en half geautomatiseerde voertuigen veilig functioneren, terwijl ook de veiligheid voor conventionele voertuigen wordt verbeterd, zodat hier voordelen uit voortvloeien voor alle weggebruikers.

²² EC Expert Group on Road Infrastructure Safety (EGRIS): <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=en&do=groupDetail.groupDetail&groupID=3686>

4.4 België: All for zero²³

Het interfederaal plan *All for zero* (All for zero, 2021) is de gezamenlijke visie en het gezamenlijke engagement van de overheden op regionaal en federaal niveau om maatregelen te nemen op het vlak van verkeersveiligheid, **om op termijn te komen tot nul doden** in het verkeer. Deze gemeenschappelijke visie bouwt voort op de regionale en federale doelstellingen en actieplannen.

Tabel 1. Streefdoelen voor 2030 en 2050

	Actuele waarde (2019)	Streefdoel 2030	Streefdoel 2050
Aantal verkeersdoden	644	< 320	0
Aantal zwaargewonden in het verkeer (MAIS3+)	3600	< 1800	< 360

Figuur 4.2 – Streefdoelen voor 2030 en 2050 in België volgens het interfederaal plan *All for zero* (All for zero, 2021)²⁴

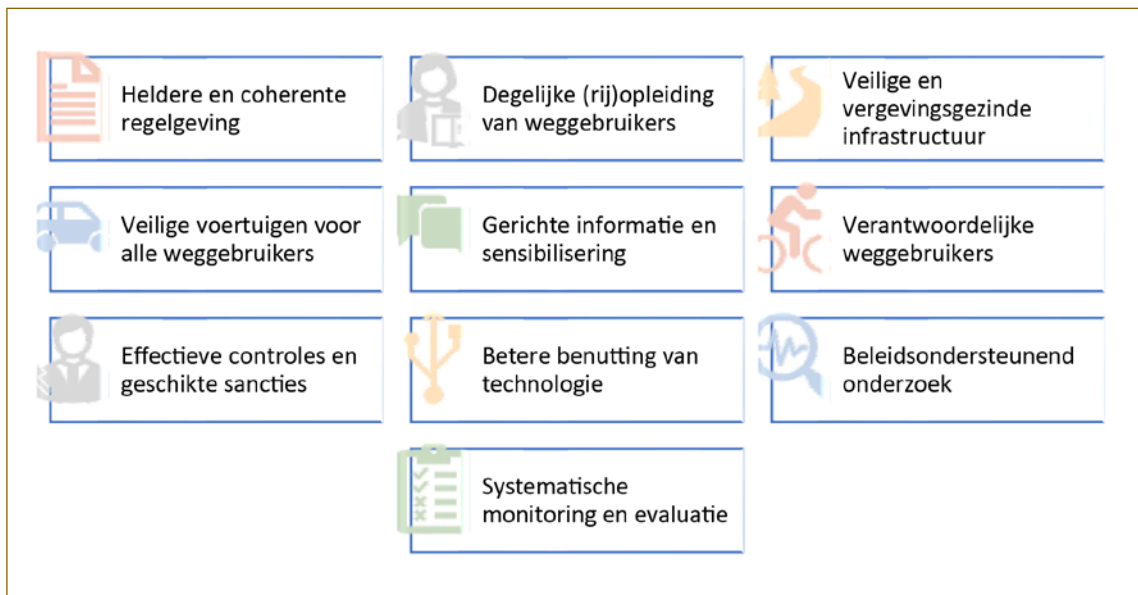
In dit plan worden naast klassieke aandachtspunten ook “**nieuwe uitdagingen** op het gebied van verkeersveiligheid” aangestipt. Daarbij valt op dat de problematiek van verkeersveiligheid van autonome voertuigen beperkt wordt tot een probleem van alertheid, risico op uitvallen van systemen en cybersecurity. Dat wordt als volgt verwoord: “toenemende **automatisering van bepaalde rijtaken** wat kan leiden tot een verminderde alertheid; op termijn ook de problematiek van uitvallen van systemen en cybersecurity”.

Er wordt ook vermeld dat **nieuwe technologieën mogelijkheden bieden**, met onder meer de vermelding dat de “evolutie naar ‘slimme’ wegen (leesbaar door geautomatiseerde voertuigen) en intelligente transportsystemen (ITS) en *Smart Mobility* kunnen bijdragen tot een verhoging van de verkeersveiligheid”.

Vanuit de *Safe System*-benadering engageren de verschillende overheden zich om, binnen het kader van hun bevoegdheden, te werken aan de tien **algemene doelstellingen**.

²³ Interfederale, gemeenschappelijke visie “All for zero: een gedeelde visie op verkeersveiligheid in België” (Staten-Generaal 2021, 2021)

²⁴ MAIS: *Maximum Abbreviated Injury Scale*: The Abbreviated Injury Scale (AIS) severity score is an ordinal scale of 1 to 6 (1 indicating a minor injury and 6 being maximal). A casualty that sustains an injury with a score of 3 or higher on the AIS is classified as clinically seriously injured (MAIS3+).



Figuur 4.3 – Tien algemene doelstellingen van het interfederaal plan *All for zero* (*All for zero*, 2021)

Het wordt duidelijk dat elementen van de ontwikkeling naar **autonome voertuigen** weliswaar in de algemene doelstellingen van *All for zero* passen, maar de concrete invulling daarvan zou dus vooral door de gewesten tot uiting moeten komen²⁵.

²⁵ Met de gedragscode voor testen van autonome voertuigen van de FOD Mobiliteit en Verkeer als kader (§ 3) (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer [FOD Mobiliteit en Vervoer], 2016)

4.5 Regelgeving

In de *Roadmap for the deployment of automated driving in the EU* (ACEA, 2019b)) geeft ACEA (*Association de Constructeurs Européens d'Automobiles*)²⁶ een overzicht van naar hun mening **relevante en nog vereiste stappen** voor de ontplooiing van autonome voertuigen. Behalve nog vereiste technische evoluties en stappen om ook meer uniformiteit in infrastructuur na te streven, gaat het ook om heel uiteenlopende internationale, Europese en nationale regelgeving; onder meer op het vlak van de functionaliteit van voertuigen, cybersecurity, regels in verband met rij- en rusttijden maar ook verkeersregels, regelgeving in verband met infrastructuur en de verkeersveiligheid.

In hoofdstuk 5 van *Connected and Autonomous Vehicles & weginfrastructuur*, stand van zaken en toekomstverkenning (Redant & Van Geelen, 2021) wordt relevante regelgeving opgelijst voor de uitrol van intelligente transportsystemen en zelfrijdende voertuigen. De aspecten in verband met infrastructuur die naar voor komen zijn:

- nastreven van een koppeling tussen weginfrastructuur en voertuig o.m. door afspraken over de uitwisseling van gegevens (Richtlijn 2010/40/EU, 2010 en Gedelegeerde Verordening 2022/670, 2022);
- Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/962, 2015 (*Real Time Traffic Information - RTTI*) maakt een onderscheid tussen statische weginformatie (snelheidsregime, wegverloop, beperkingen voor bepaalde type voertuigen, enz.), dynamische weginformatie (wegenwerken, ongevallen, wegdek in slechte staat, enz.) en verkeersinformatie (doorstroming, enz.);
- Gedelegeerde Verordening nr. 886/2013, 2013 (*Safety Related Traffic Information - SRTI*) stuurt aan op communicatie van een aantal condities of events die de verkeersveiligheid in het gedrang brengen;
- Richtlijn (EU) 2019/1936, 2019 (*Road Infrastructure Management - RISM*) vraagt speciale aandacht voor de herkenbaarheid van wegmarkeringen en verkeersborden; zowel ten behoeve van menselijke bestuurders als voor geautomatiseerde systemen. Naar aanleiding van de richtlijn wordt ook de wenselijkheid onderzocht van Europese aanbevelingen in verband met de zichtbaarheid van dit type uitrusting;
- Verordening (EU) 2019/2144, 2019 gaat over de homologatie van nieuwe voertuigen. Systemen die de bestuurder ondersteunen bij zijn rijtaak dienen volgens deze verordening standaard ingeschakeld te zijn. Niettemin laat de verordening toe om deze systemen (manueel of automatisch) **uit te schakelen** indien de beschikbare infrastructuur niet voldoende is om betrouwbaar functioneren van deze systemen toe te laten. Met name voor ISA geeft de verordening aan dat snelheidsinformatie die gebruikt wordt in het voertuig, afkomstig kan zijn van waarnemingen van **infrastructuur** of van andere gegevensbronnen. Ervaring toont intussen aan dat louter verkeersborden niet volstaan voor het betrouwbaar functioneren van ISA-systemen (ITS.be, 2022).

²⁶ De *European Automobile Manufacturers' Association* (ACEA), verenigt de 16 grote auto-, vrachtwagen-, bestelwagen- en busfabrikanten in Europa. <https://www.acea.auto/about-acea/>



Hoofdstuk 5

De rol van infrastructuur bij verkeersveiligheidsaspecten van autonome voertuigen

We stipten in hoofdstuk 1 de verschillende **SAE-niveaus** van autonoom rijden aan. In de lagere niveaus gaat het om rijtaakondersteunende systemen (ADAS), in de hogere niveaus om autonoom rijden (ADS). Het is belangrijk om dit onderscheid te maken om grip te krijgen op de verkeersveiligheidsaspecten van semi-autonoom en volledig autonoom rijden. Ondersteunende functies (ADAS), op termijn uitmondend in autonoom rijden (ADS) kunnen een bijdrage leveren aan verkeersveiligheid.

De technologische evolutie gaat razendsnel. Autoconstructeurs en ontwikkelaars van rijhulpsystemen slagen er almaar beter in om hun systemen te integreren in voertuigen. Sensoren worden almaar betrouwbaarder, goedkoper en gemakkelijker beschikbaar zodat deze meer algemeen kunnen worden ingebouwd in nieuwe voertuigmodellen. Bijzondere aanpassingen aan infrastructuur lijken daardoor almaar minder een **dwingende voorwaarde** te zijn voor de uitrol van zelfrijdende voertuigen. Desondanks blijft infrastructuur, net als voor conventionele voertuigen met menselijke bestuurders, ook aan geavanceerde voertuigen een **bijdrage** leveren aan het correct functioneren en aan vlotte, comfortabele en veilige verplaatsingen.

5.1 Connectiviteit, CCAM, Communicatie

Naast de ontwikkeling van detectiesystemen en het verbeteren van beslissingsalgoritmen wordt er door deskundigen veel verwacht van het toevoegen van **connectiviteit** (tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en infrastructuur) aan wagens.

Zelfs de beste sensoren slagen er vandaag maar in om maximaal 250 m vooruit te kijken. Op een autosnelweg aan een snelheid van 120 km/u kunnen op die manier zichtbare situaties op 7 à 8 sec worden gedetecteerd. Door het mogelijk te maken dat voertuigen ook realtime informatie ontvangen van andere voertuigen of van weginfrastructuur en deze informatie gebruiken als gegevensbron van rijhulpsystemen kan er sneller actie worden ondernomen (door het informeren van de bestuurder of door actief in te grijpen op het voertuig). Weginfrastructuur en verkeersdeelnemers worden op dat moment als het ware **remote sensors** die andere verkeersdeelnemers informeren en waarvan de informatie kan worden gebruikt om het verkeer (veiligheid, mobiliteit, milieuvriendelijkheid) te optimaliseren.

5.2 Overdragen van de besturing (disengagement)

In de **overgangperiode** van rijtaakondersteunende systemen naar volledig zelfrijdende voertuigen blijft de rol van de menselijke bestuurder bij de courante systemen onmiskenbaar²⁷. Zelfs als het voertuig zelfstandig beweegt binnen de – in geval van SAE L3 – geldende randvoorwaarden, moet de menselijke bestuurder alert blijven om, als de omstandigheden daarom vragen, de besturing over te nemen²⁸. In de overgangperiode waarbij deze inbreng van de bestuurder geleidelijk afneemt, bestaat echter de mogelijkheid dat de rijervaring zodanig daalt (**deskilling**) dat deze onvoldoende is op de ogenblikken dat deze het meest nodig is; namelijk in complexe situaties als de automatiseringsfuncties van het voertuig afhaken. Pas vanaf SAE-level 4 en 5 zouden voertuigen in respectievelijk de meeste of alle denkbare omstandigheden volledig autonoom zijn.

Als het voertuig een situatie detecteert die het niet kan afhandelen, zal het voertuig de besturing overdragen aan de bestuurder (**disengagement**). Afhankelijk van de aandacht van de bestuurder voor de omgeving (**situational awareness**) en van tal van andere parameters zal het al snel enkele seconden²⁹ duren vooraleer de bestuurder zich voldoende bewust is van zijn rijomgeving en de rijtaak correct heeft overgenomen van het voertuig.

Het systeem moet zo zijn ontworpen dat het faalveilig is, zodat het voertuig veilig stopt als de bestuurder niet reageert op een overdrachtsverzoek. De **reactietijd** van de bestuurder om verantwoordelijkheid te nemen voor het rijden hangt af van wat de bestuurder doet, zoals naar muziek luisteren, een artikel lezen of telefoneren (NDR-tasks³⁰). De reactietijd varieert ook naar gelang de rijervaring en leeftijd (Benam, 2021).

Een weliswaar beperkt experiment in een **rij simulator** toonde aan dat oudere bestuurders doorgaans beter in staat zijn om de controle van een zelfrijdend voertuig over te nemen. Tijdens dit experiment bleek bovendien dat zowat de helft van de deelnemers de visuele indicatie om de besturing over te nemen niet zagen en dat driekwart van de deelnemers na overname van de besturing versnelden in plaats van, zoals verwacht, te vertragen (Favaro et al., 2019).

De overdracht van de besturing gebeurt best zo naadloos mogelijk. Enkel een verzoek tot overdracht volstaat niet. Er dient te worden gecontroleerd of de nieuwe taakverantwoordelijke (menselijke bestuurder of systeem) **effectief controle** heeft over het voertuig. Als dit niet of onvoldoende het geval zou zijn, moet het systeem gepaste actie kunnen ondernemen (vertragen of veilig tot stilstand komen).

In de toekomst lijkt de vraag zich te stellen **waar** een enkele inzittende van een autonoom voertuig plaats kan nemen. Als op enig moment de besturing van het voertuig overgenomen moet worden, dan zal er nog altijd sprake zijn van een “bestuurdersstoel”. In andere gevallen zal het voertuig effectief moeten stoppen zodat de inzittende op de juiste plaats kan gaan zitten.

²⁷ Private wagens die stelselmatig taken van een menselijke bestuurder overnemen vereisen vooralsnog dat deze bestuurder de controle kan overnemen. Anderzijds zijn er ook proefprojecten waar zelfrijdende voertuigen zonder menselijke bestuurder opereren binnen een afgebakende omgeving.

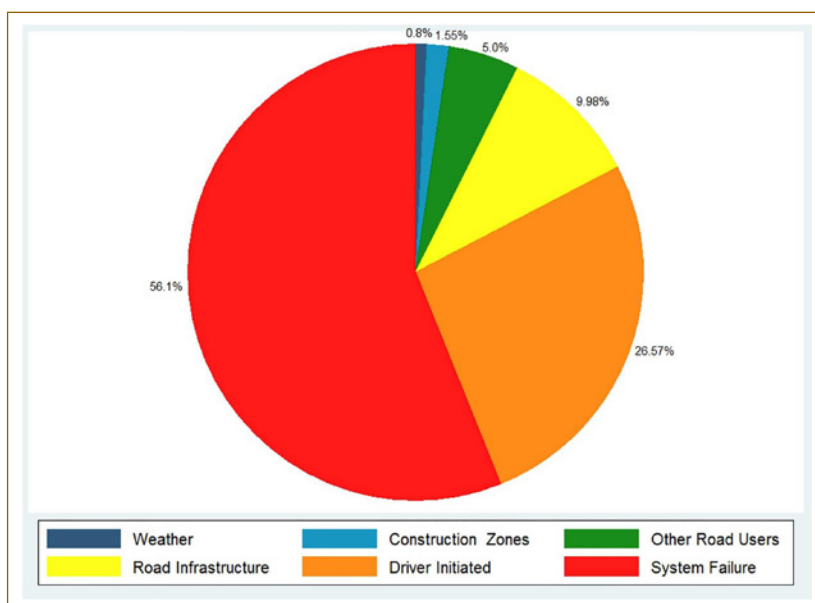
²⁸ De overdracht van de besturing kan zowel door het voertuig als door de bestuurder worden geïnitieerd.

²⁹ Onderzoek heeft aangewezen dat een transitietijd (van motorvoertuig naar bestuurder) van acht tot tien seconden noodzakelijk is (De Bruyne, 2021, Hoofdstuk 5, Deel 5).

³⁰ NDR-tasks: *Non-Driving Related Tasks*

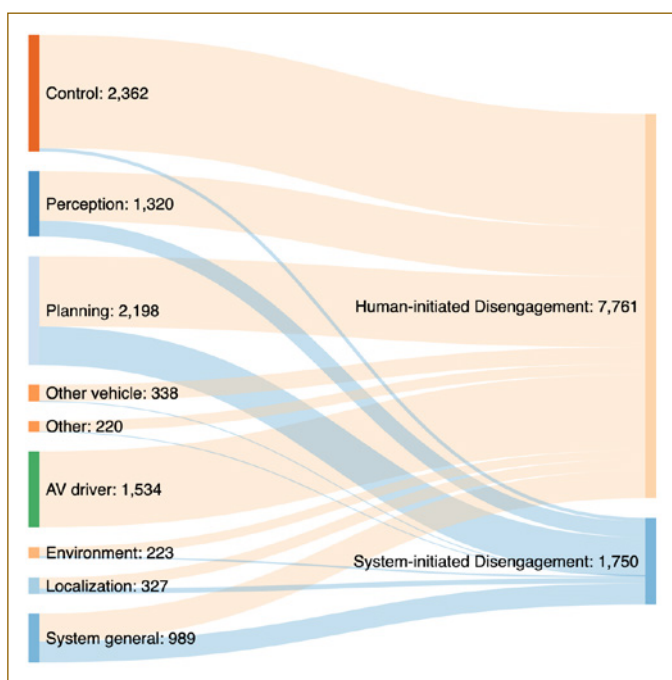
Problemen met de infrastructuur (bv. zichtbaarheid van signalisatie of gebreken in het wegoppervlak) en ruimer opgevat met de omgeving (bv. werkzones) kunnen ertoe leiden dat een zelfrijdend voertuig verzoekt om de tussenkomst van een operator. Volgens de beschikbare informatie is infrastructuur of de omgeving echter niet de belangrijkste **reden van disengagements**. Bovendien worden de meeste overdrachten van besturing geïnitieerd door de bestuurder omwille van problemen met de infrastructuur of de omgeving en niet omdat het systeem deze niet kan afhandelen.

Uit onderstaande grafische voorstellingen kunnen we afleiden dat de *disengagements* vanwege het (voertuig)systeem gunstig evolueren en voertuigen dus almaar beter in staat blijken allerhande situaties correct af te handelen.



Figuur 5.1

Reasons for disengagement, gebaseerd op testen op de openbare weg in California (09/2014-11/2015) (Dixit et al., 2016)



Figuur 5.2

Reasons for disengagement, gebaseerd op testen op de openbare weg in California, 2021 (Zhang et al., 2021)

Bovendien zijn de situaties die leiden tot overname van de besturing door een menselijke operator ook niet noodzakelijk veiligheidsrisico's.

Anderzijds suggereren figuren 5.1 en 5.2 ook dat, als voertuigsystemen betrouwbaarder functioneren en het vertrouwen van inzittenden evenzeer toeneemt, andere factoren (waaronder infrastructuur) een belangrijkere rol kunnen gaan spelen.

Artificiële intelligentie-toepassingen, kortweg AI genoemd, kunnen worden ontworpen om de bestuurder te informeren over de huidige of komende verkeerssituatie (Benam, 2021).

- Een op AI gebaseerd systeem kan op een "menselijke" manier communiceren met de bestuurder in plaats van te waarschuwen via een waarschuwingslampje of trilling van het stuur. Gesproken boodschappen verhogen de veiligheid en betrouwbaarheid van het volledige systeem.
- AI-toepassingen stellen bestuurders in staat om zich voor te bereiden, voordat er een gevaar ontstaat. Dit kan de reactietijd op een mogelijke overdracht verminderen.
- AI-toepassingen kunnen eerdere overdrachten monitoren en toekomstige overdrachtsbesturingen aanpassen op basis van kenmerken van de bestuurder, zoals leeftijd, ervaring of reactiesnelheid, of andere temporele parameters of situaties die tegelijkertijd hebben plaatsgevonden. Zo kan de overdrachtstijd van ca. 10 seconden worden aangepast en worden verhoogd of verlaagd als er geen veiligheidsdoelen worden geschonden.
- Bestuurderspersonalisatie door AI-systemen kunnen de beschikbaarheid en veiligheid van het systeem verhogen.

5.3 Verkeersborden en wegmarkeringen

Net zoals signalisatie het rijgedrag van menselijke bestuurders beïnvloedt, kan signalisatie ook een **bijdrage leveren** aan het correcter en betrouwbaarder functioneren van ADAS en ADS.

Onderzoek in Australië (Marr et al., 2020) naar de mogelijkheden en beperkingen van huidige *machine vision*-systemen voor het herkennen van wegmarkeringen leidde tot een aantal vaststellingen:

- herkennen van een markering overdag is moeilijker dan 's nachts;
- het contrast tussen de markering en het wegoppervlak is een belangrijke factor;
- de kleur van de markering heeft maar een beperkte invloed;
- onduidelijke configuraties brengen ook geautomatiseerde systemen in de war;
- fel zonlicht en schaduw zijn moeilijk;
- onderbroken markeringen zijn doorgaans minder eenvoudig herkenbaar dan doorlopende markeringen. Voldoende brede markeringen en goede zichtbaarheidskenmerken worden dan nog belangrijker.

Autoconstructeurs en fabrikanten van rijhulpsystemen blijken voor het functioneren van ISA en LDW (*Lane Departure Warning*) / LKA (*Lane Keeping Assist*) vandaag behoefte te hebben aan duidelijk zichtbare en **uniforme verkeersborden en wegmarkeringen**.

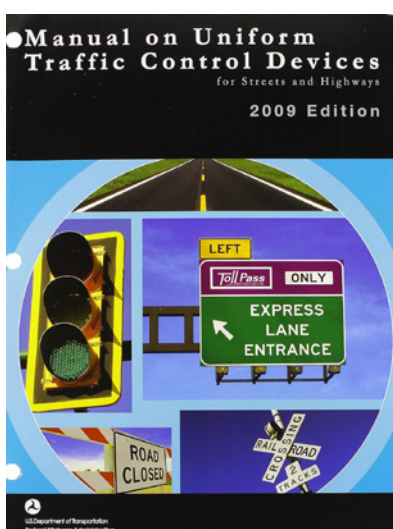
Meer geavanceerde **detectiesystemen** voor wegmarkeringen die gebaseerd zijn op LIDAR-technologie kunnen de rand van de rijbaan ook identificeren op basis van veranderingen in het oppervlak of aan de hand van een niveauverschil. Nadeel is echter dat *ghost-markings* (afgedekte markeringen) of voegen – door de verandering van het oppervlak – door LIDAR-systemen onterecht kunnen herkend worden als de rand van een rijstrook.

Voor optimaal functioneren blijft het belangrijk dat markeringen voldoende zichtbaar zijn. In het geval van LIDAR-detectiesystemen draagt retroreflectie ook bij aan betere detectie overdag. De zichtbaarheid van markeringen voor camera- en LIDAR gebaseerde detectiesystemen neemt ook toe met de duidelijke aflijning van de randen van de markering en het contrast van de markering met de verharding.

Naar aanleiding van de herziening van de RISM Richtlijn (EU) 2019/1936, 2019 onderzoekt Europa of het opportuun is om ten behoeve van zowel menselijke bestuurders als zelfrijdende voertuigen, Europese **specificaties** in te voeren voor de zichtbaarheid en herkenbaarheid van wegmarkeringen en verkeersborden³¹.

De FHWA (*Federal Highway Agency*) van de Verenigde Staten besteedt in de update van hun *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD) aandacht aan **markeringen ten behoeve van zelfrijdende voertuigen**³².

MUTCD



(US Department of Transportation [US DOT], Federal Highway Administration [FHWA], 2023)

(US Department of Transportation [US DOT], Federal Highway Administration [FHWA], 2023) MUTCD definieert de aanbevelingen voor wegbeheerders in het hele land voor installatie en onderhoud van verkeerscontroleapparatuur op alle openbare straten, snelwegen, fietspaden en privéwegen die openstaan voor personenvervoer. Het is een compilatie van nationale aanbevelingen voor alle verkeersregelapparatuur, inclusief wegmarkeringen, snelwegborden en verkeerslichten. Het document wordt periodiek bijgewerkt om tegemoet te komen aan veranderende transportbehoeften van het land en om nieuwe veiligheidstechnologieën, verkeerscontroletools en verkeersbeheertechnieken aan te pakken.

In de editie van mei 2023 staan onder meer updates die nodig zijn om te voorzien in de ondersteuning van het veilig testen van geautomatiseerde voertuigtechnologie en alle voorbereidingen die nodig zijn voor de veilige integratie van geautomatiseerde voertuigen op openbare wegen.

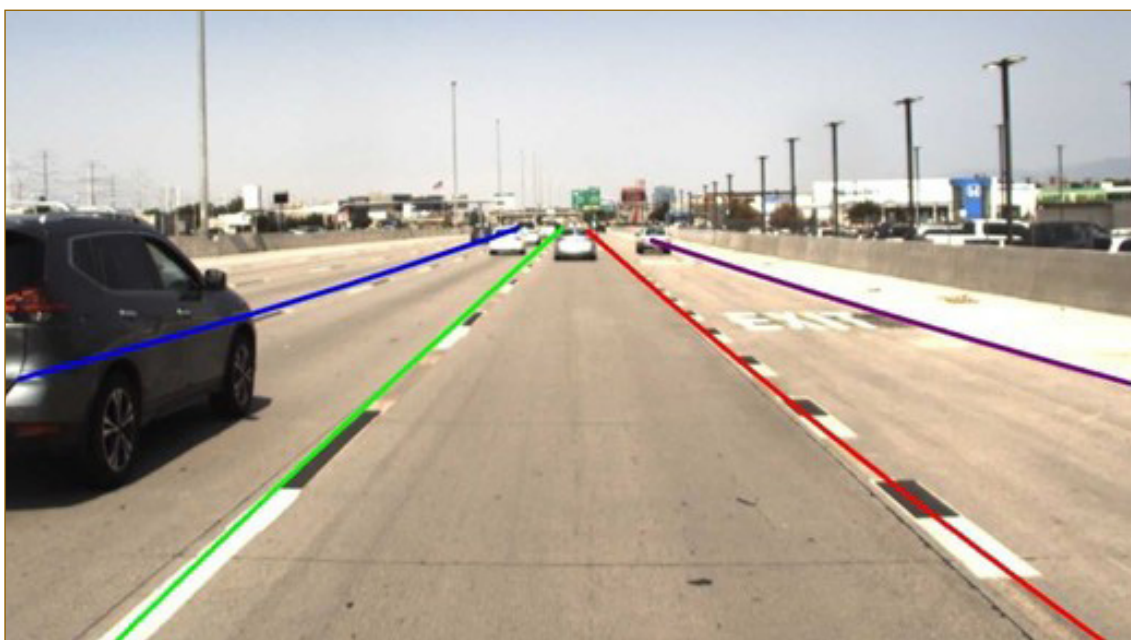
³¹ In de zogenaamde EGRIS werkgroepen (*Expert Group on Road Infrastructure Safety*)

³² <https://mutcd.fhwa.dot.gov/>

Een subgroep van *UNECE/Global Forum for Road Traffic Safety* (WP.1) is een initiatief gestart om de verschillende varianten van verkeersborden te harmoniseren, onder meer ten behoeve van het betrouwbaarder functioneren van rijtaakondersteunende systemen.



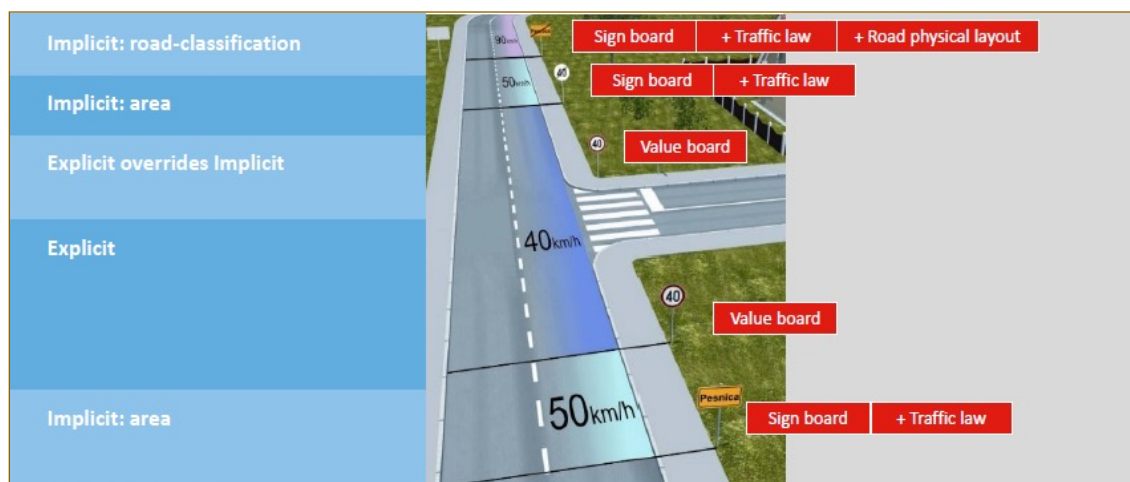
Figuur 5.3 – Enkele varianten van het bord “gevaarlijke afdaling”³³



Figuur 5.4 – Contrast lane markers verhogen de betrouwbaarheid van LKA (Lane Keeping Assistance) en LDW (Lane Departure Warning) systemen, in het bijzonder bij licht gekleurde verhardingen en bij fel licht (VSI Labs, 2021)

³³ 5.3a (Verkeersbord SB250 A3, 2023); 5.3b (Finnish Transport Infrastructure Agency, s.d.); 5.3c (Roadsigns in Norway, 2023); 5.3d (National Driving School, 2023)

Het herkennen van het snelheidsregime door louter te vertrouwen op detectie van verkeersborden blijkt onvoldoende betrouwbaar³⁴. Degradering van signalisatie, weersomstandigheden en onvoldoende zichtbare signalisatie door andere obstakels maken dat sensoren niet altijd in staat zijn om verkeerstekens correct te herkennen. In situaties waar er op twee naastliggende wegen een verschillend snelheidsregime geldt, bestaat eveneens de kans dat de geldende snelheid niet correct wordt herkend. In heel wat gevallen wordt de toegelaten snelheid bovendien ook op andere manieren bepaald dan louter door een verkeersbord.



Figuur 5.5 – Illustratie van elementen die het snelheidsregime bepalen (ITS.be, 2022)



Figuur 5.6 – Verschillend snelheidsregime op hoofdbaan en parallelbaan (Klem, 2022)

Verordening 2019/2144 laat toe dat ISA en LDW/LKA voor hun werking ook gebruik maken van andere gegevensbronnen (*crowdsourcing*, *digital maps*, enz.) dan louter de waarnemingen door sensoren in het voertuig. Voor voldoende betrouwbare werking van ISA en LDW/LKA lijkt het vandaag onvermijdelijk om ook informatie te betrekken uit die andere gegevensbronnen.

³⁴ Volgens ACEA zouden ISA-systemen die louter gebaseerd zijn op camera slechts in 50 % van de gevallen het van toepassing zijnde snelheidsregime correct detecteren (ITS.be, 2022)

5.4 Wegoppervlak & obstakels

Menselijke bestuurders zijn doorgaans goed in staat om obstakels op of defecten in het wegdek tijdig te detecteren en ze te ontwijken of hun rijgedrag aan te passen zodat dit uiteindelijk maar een beperkte impact heeft op het verkeer.

Defecten in het wegdek zijn vooralsnog moeilijk te interpreteren door autonome voertuigen. Uit voorzichtigheid geven ze de controle terug aan de bestuurder, als daartoe aanleiding is. De informatie over de **overdracht** moet tijdig en duidelijk zijn, en de bestuurder moet over voldoende vaardigheden beschikken om het voertuig te kunnen besturen³⁵.

Beperkte ervaring met zelfrijdende shuttles in België doet uitschijnen dat deze voertuigen niet steeds goed kunnen omgaan met hindernissen. Stilstaande voertuigen, kleine obstakels, inhalende voertuigen die te snel opnieuw invoegen veroorzaken – wellicht ook door de behoudsgezinde configuratie van de shuttle (*on the safe side*) – al snel een, soms bruuske, **stop van het voertuig** en vereisen actie van de menselijke operator om het voertuig opnieuw in beweging te zetten³⁶.

De in België tijdens proefprojecten ingezette zelfrijdende shuttles blijken vandaag redelijk goed in het onderscheiden van obstakels, maar hebben nog **moeite met het ontwijken** ervan. Proefprojecten met verder ontwikkelde zelfrijdende voertuigen in andere delen van de wereld (en na 2022 allicht ook in Europa) geven aan dat zulke obstakels echter niet lang meer een belemmering hoeven te vormen voor het functioneren van zulke voertuigen.

5.5 Pechhavens (Xue et al., 2022)

In omstandigheden waarbij de inzittende niet in staat blijkt de besturing van het voertuig over te nemen als daar wordt om gevraagd of als het zelfrijdende voertuig een situatie niet kan afhandelen, moet het voertuig op een veilige manier kunnen stoppen op alle type wegen³⁷. Men kan zich echter afvragen of het niet veiliger is wagens bij voorkeur te doen stoppen op de pechstrook of op een pechhaven.

³⁵ § 5.3 Overdragen van de besturing (*disengagement*)

³⁶ Uit de eerste ervaringen tijdens proefprojecten met shuttles in Waterloo (VIAS) en Louvain-La-Neuve (TEC + Ville de Louvain-la-Neuve) bleek dat obstakels regelmatig aanleiding waren voor het stoppen van het voertuig. Tussenkoms van de operator bleek nodig om het voertuig opnieuw in beweging te zetten (Mertens, 2022).

³⁷ UN, 2021 spreekt van een *Minimum Risk Manoeuvre*; dit is gecontroleerd tot stilstand komen in de rijbaan en activeren van de waarschuwingslichten.

5.6 Classificatie van wegen

Rijtaakondersteunende of zelfrijdende functies in voertuigen functioneren dikwijls ook maar in welbepaalde omstandigheden. Als op een bepaalde weg de rijtaakondersteunende functies van een bepaald voertuig werken, is dat geen garantie dat diezelfde functies ook werken bij een ander voertuigmodel. Een **classificatie van wegen naar hun readiness** om bepaalde functies te ondersteunen zou een stap naar harmonisatie kunnen zijn. Bij de ontwikkeling van rijtaakondersteunende systemen, kunnen bedrijven zich richten op deze classificatie en de daarbij horende infrastructuurkenmerken. Voor wegbeheerders anderzijds zou zulke classificatie houvast geven om bepaalde infrastructuurkenmerken op een zeker niveau te handhaven om op die manier ADS en ADAS (voertuigafhankelijk) te ondersteunen.

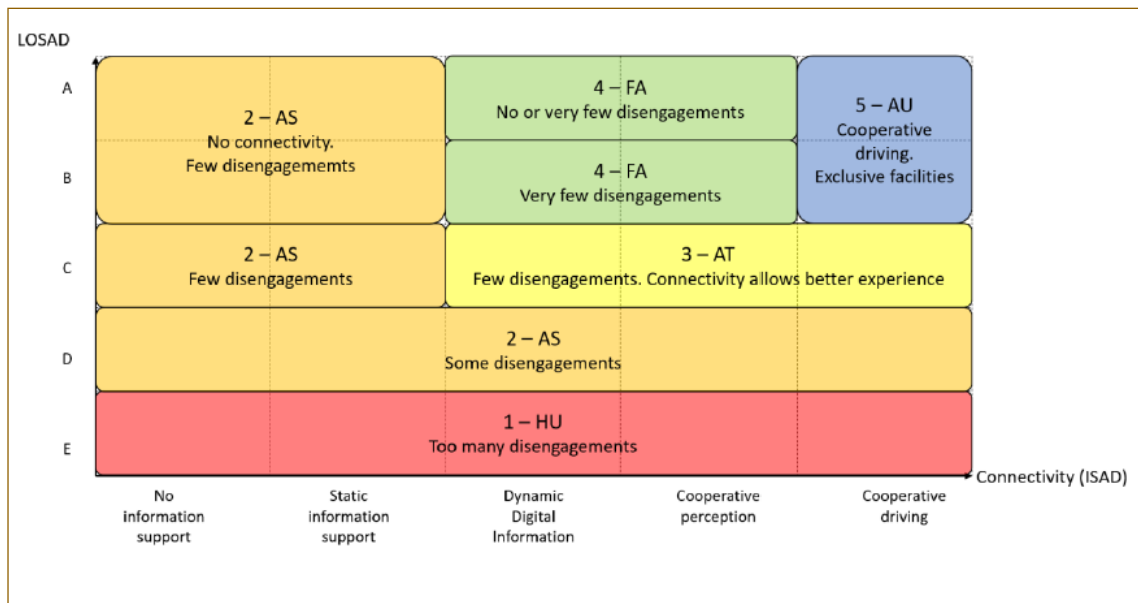
Tijdens het INFRAMIX-project (Infrastructure categorization, 2017) werd onder meer een classificatie voorgesteld om aan te geven in welke mate beschikbare infrastructuur zowel geautomatiseerd als conventioneel vervoer ondersteunt; vooral tijdens de overgangperiode waar beiden de weg delen. De classificatie, **ISAD-levels** genoemd (*Infrastructure Support Levels for Automated Driving*), geeft informatie over de mate waarin een weg voorzien is van ondersteuning voor connectiviteit en voorbereid is voor toekomstig geautomatiseerd verkeer.

	Level	Name	Description	Digital information provided to AVs			
				Digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Digital infrastructure	A	Cooperative driving	Based on the real-time information on vehicles movements, the infrastructure is able to guide AVs (groups of vehicles or single vehicles) in order to optimize the overall traffic flow	X	X	X	X
	B	Cooperative perception	Infrastructure is capable of perceiving microscopic traffic situations and providing this data to AVs in real-time	X	X	X	
	C	Dynamic digital information	All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to AVs	X	X		
Conventional infrastructure	D	Static digital information / Map support	Digital map data is available with static road signs. Map data could be complemented by physical reference points (landmarks signs). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by AVs	X			
	E	Conventional infrastructure / no AV support	Conventional infrastructure without digital information. AVs need to recognise road geometry and road signs				

Figuur 5.7 – Categorisering van infrastructuur ten behoeve van autonome voertuigen: ISAD-levels zoals voorgesteld in het INFRAMIX project (*Infrastructure categorisation, 2017*)

PIARC bouwt met de *Smart Road Classification* (Garcia Garcia, 2021) voort op de ISAD-levels. Het LOSAD³⁸-level (gerelateerd aan fysieke infrastructuur), gecombineerd met het ISAD-level (gerelateerd aan digitale infrastructuur) geven aanleiding tot vijf **Smart Road Levels**. Deze vijf slimme wegenniveaus onderscheiden de wegen op het vlak van gereedheid voor autonome voertuigen, met verschillen in connectiviteit en in de aantallen *disengagements* die nodig zouden zijn (figuren 5.8 en 5.9).

³⁸ LOSAD-level: *Level Of Service of Automated Driving*; geeft aan in welke mate een wegvak compatibel is met geen, slechts enkele tot alle voertuig ODD's (E: niet compatibel met voertuig ODD's, A: compatibel met de meeste voertuig ODD's).



Figuur 5.8 – SRL (Smart Road Level volgens PIARC) (Garcia Garcia, 2021)

Smart Road Level	Description
Human way (HU)	The road segment is not ready to host CAVs, due to the high number of disengagements, and/or the low capability to share digital data to inform vehicles about their ODDs.
Assisted way (AS)	The road segment is adequate to perform autonomously, but this condition may stop due to different factors (not as frequently as HU segments). Therefore, drivers of automation SAE levels 1 to 4 vehicles should be attentive to the road to disengagements or takeover requests.
Automated way (AT)	The road segment presents reasonably good connectivity and physical infrastructure capabilities, so disengagements or takeover requests would be quite lower compared to AS and HU. Vehicles can match their ODD limitations with the digital information shared by the road segments, so most takeover requests (SAE levels 3-4) are planned.
Full Automated way (FA)	The road presents a continuous ORS, ensuring ODD compatibility with far most SAE level 3-4 vehicles. Digital information is shared, so these vehicles can plan any takeover request. Therefore, an experience without disengagements can be attained. SAE level 2 vehicles would experience very low number of disengagements.
Autonomous way (AU)	Similar than FA, the connectivity infrastructure supports cooperative driving, so the infrastructure can receive and transmit tailored instructions to all vehicles, micromanaging traffic performance. This road segment type is exclusive for SAE level 4-5 CAVs. This highest smart level may be designated to some lanes

Figuur 5.9 – Smart Road Levels (PIARC) (Garcia Garcia, 2021)

5.7 Digital Twin/Digital Map

Digital twins (Digital twin, 2023) zijn een **digitale voorstelling van een fysieke** realiteit, een systeem of een proces. Ze worden ingezet voor simulatie, integratie, testen, monitoring en onderhoud. De voorstelling kan behalve de kenmerken van de fysieke realiteit ook **informatie** bevatten **over de toestand** waarin die realiteit zich bevindt of gebeurtenissen die zich voordoen.

In het kader van autonome voertuigen kunnen *digital twins* zowel voorstellingen zijn van de voertuigen inclusief alle geïntegreerde systemen als voorstellingen van de verkeersomgeving en alle gebeurtenissen die zich in die omgeving kunnen afspelen.

Digital twins worden in zowat alle fasen van de ontwikkeling van voertuigen ingezet, vanaf prototyping tot commerciële uitrol van nieuwe voertuigen. Ze worden onder meer gebruikt in de ontwikkelingsfase om rijtaakondersteunende systemen en zelfrijdende wagens te testen. Voor zinvolle testen is een correcte digitale voorstelling nodig van zowel het **voertuig** (inclusief alle sensoren en hun gedrag) als van de **verkeersomgeving** (rekening houdend met alle mogelijke variabelen als weersomstandigheden, lokale verkeersregels of gebruiken, plotse gebeurtenissen, enz.).

Rijtaakondersteunende systemen en geautomatiseerde voertuigen vertrouwen vandaag voornamelijk op waarnemingen door ingebouwde **sensoren**. Behalve de inherente beperking dat detectie enkel mogelijk is binnen de werkingsrange van deze sensoren (momenteel ongeveer 250 m), laten sensoren ook enkel toe om een object te detecteren, te herkennen en – met wisselende nauwkeurigheid – te lokaliseren³⁹.

Naast louter een digitale voorstelling van de weg en de wegomgeving, kan informatie in een *digital twin* worden **uitgebreid** met kenmerken over de objecten in de *digital twin* die **niet meteen visueel waarneembaar** zijn en die zinvol zijn voor zowel het functioneren van of de beslissingen die een geautomatiseerd voertuig neemt. Het gaat bijvoorbeeld om informatie over stroefheid van een wegdek, kerend vermogen van afschermdende constructies, dynamische info over andere verkeersdeelnemers, over wegenwerken.

Sommige informatie over de fysieke realiteit kan mogelijk ook worden gedetecteerd door voertuigsensoren en, in geval van inconsistentie met de data in de *digital twin*, worden gesignaleerd aan de wegbeheerder die op zijn beurt meer gericht interventies kan plannen (bv. problemen met LKA door onvoldoende zichtbare markering).

Dat de navigatiesystemen meer en meer standaard worden ingebouwd in voertuigen geeft een idee van de mogelijkheden van *digital twins*. Om ook hogere SAE-niveaus te ondersteunen, dienen deze *digital twins* echter bijna realtime te worden **geactualiseerd**. Voertuigen en infrastructuur dienen daarvoor te worden voorzien van geschikte communicatiemogelijkheden. Om dat te kunnen realiseren moeten er voldoende middelen worden ingezet.

Met name op het vlak van **wegenwerken** ligt de uitdaging erin om de digitale informatie up-to-date te houden, zodat de voertuigen op de hoogte kunnen zijn van de omstandigheden. Dat besef is zeer sterk aanwezig in met name de Verenigde Staten, waar de interactie langs de weg bij bouwwerken een landelijke prioriteit krijgt (Highlights, 2023).

³⁹ HERE (leverancier van systemen voor automatisering voertuigen) kondigde aan dat zij *digital twins* van de wegomgeving (inclusief identificatie, classificatie en lokalisering van objecten met een relatieve nauwkeurigheid van 2 cm) aanbieden die werden gecreëerd op basis van LIDAR-sensor data (HERE, s.d.)

Wegenwerken zijn een verstoring van de normale situatie: de wegmarkeringen en/ of verkeersborden van de “normale” situatie gelden tijdelijk niet. De plaats en de tijd van de wegenwerken moeten tijdig en correct gekend zijn. Het is aangewezen om dit in **contracten tussen wegbeheerders en aannemers** op te nemen. Er zijn ontwikkelingen gaande op het vlak van standaard berichten over wegenwerken. De DATEX-standaard geeft aan hoe informatie over verkeersgerelateerde gebeurtenissen, inclusief wegenwerken, op een gestructureerde manier kan worden doorgegeven⁴⁰.

AWV vraagt dat voor **mobiele bouwplaatsen** het Verkeerscentrum op de hoogte wordt gebracht van geplande werken, van de effectieve start van werken en van tussentijdse verplaatsingen (Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021). De start en het einde van werkzaamheden dienen altijd telefonisch te worden doorgegeven zodat weggebruikers hierover geïnformeerd kunnen worden en wegvakken eventueel – door middel van dynamische signalisatie – kunnen worden afgesloten.

Het **automatisch doorgeven van de positie** van botsabsorbeers aan de hand van *track & trace* gegevens, laat toe om wegvakken veel gerichter af te sluiten en na afloop van werkzaamheden sneller terug vrij te geven. Door enkel vakken af te sluiten waar effectief wordt gewerkt, kan de beschikbare wegcapaciteit efficiënter worden gebruikt en worden deze beperkingen als geloofwaardiger ervaren en beter opgevolgd door weggebruikers.

Voor de informatie over **vaste bouwplaatsen** promoot AWV het gebruik van de interne applicatie WERF. Dit systeem laat toe om informatie over de inname van openbaar domein (Decreet houdende de uitwisseling van informatie, 2014) in te geven, ter beschikking te stellen en actueel te houden, zowel voor werken in opdracht van AWV als voor andere bouwheren.

Met het **Mobilidata** project wil AWV de informatie over aanwezigheid van botsabsorbeers of traag rijdende interventievoertuigen en wegenwerken, evenals info over andere risico's en gevaren op de weg, ter beschikking stellen van weggebruikers⁴¹. Gegevens worden daarbij zoveel mogelijk automatisch verzameld, onafhankelijk van de (manuele) input van gebruikers. Vooralsnog louter als informatie voor bestuurders, later ook als gegevensbron voor zelfrijdende voertuigen.

⁴⁰ DATEX II (CEN, 2018-2022) is de elektronische taal die in Europa wordt gebruikt om verkeersgerelateerde data uit te wisselen. De standaard vindt zijn oorsprong in de jaren 90 en wordt tegenwoordig onderhouden door CEN/TC 278 (Road Transport and Traffic Telematics). <https://www.itsstandards.eu/aboutus/>

⁴¹ www.mobilidata.be

5.8 Digitale infrastructuur

Of het uitwisselen van gegevens tussen verkeersdeelnemers en infrastructuur een nodige **voorwaarde** is voor het veilig functioneren van zelfrijdende voertuigen is nog geen uitgemaakte zaak. Veel waarnemers menen niettemin dat communicatie een bijdrage kan leveren aan de betrouwbaarheid van ADAS⁴². Hoe dan ook, als zelfrijdende voertuigen voor hun functioneren ook gebruik gaan maken van gegevens van andere voertuigen of infrastructuur, of gaan dienen als gegevensbron voor andere weggebruikers, zal de nodige communicatiehard- en software beschikbaar moeten zijn⁴³.

Momenteel blijkt alvast dat voor een aanvaardbare betrouwbaarheid, ISA-systemen niet louter kunnen functioneren op het snelheidsregime dat door voertuigsensoren wordt herkend. Om te voldoen aan het betrouwbaarheidsniveau zoals gevraagd voor homologatie⁴⁴, is bijkomende info van buiten het voertuig nodig.

De rol van digitale infrastructuur lijkt verder toe te nemen. Bijvoorbeeld bij **Cooperative Forward Collision Warning application**: informatie over de voertuiglocatie en -beweging met andere voertuigen in de buurt kan gebruikt worden om trajecten van nabije voertuigen te berekenen en bestuurders te waarschuwen voor een dreigende botsing. Kaartgegevens kunnen gebruikt worden om de relatieve locatie en beweging van voertuigen in de buurt te filteren en te interpreteren. De haalbaarheid daarvan werpt wel vragen op: hoe zit het met de (initiële) financiële haalbaarheid en hoe zit het met de privacy?

- Communicatie V2V: voertuigen die ermee zijn uitgerust worden gedetecteerd.
- Communicatie V2I: voertuiglocatie en voertuigbewegingen worden ontvangen door de infrastructuur en door wegbeheerders gebruikt om een breed scala aan verkeersveiligheids- en mobiliteitstoepassingen te ondersteunen.
- GPS-sensoren (in het voertuig) laten toe om (via een locatiedatabase) aankomende gevaren te signaleren. Voetgangersdetectie kan ook een kenmerk zijn van dit soort systemen.

China: infrastructuur als een **enabler** (How USD300bn, 2022)

De ontwikkeling van AI-systemen is een cruciale stap naar het hoogste niveau van autonoom rijden. China kiest ervoor om niet enkel in te zetten op de ontwikkeling van AI, maar zet ook sterk in op het installeren van technologisch minder veeleisende **slimme wegwakantunits**.

UBS Investment Bank stelt dat China het best gepositioneerd is om het voortouw te nemen op het gebied van **vehicle infrastructure collaboration (VIC)**. Ze voorspellen maar liefst US \$ 300 miljard aan investeringen langs de weg in China tussen 2022 en 2040. Ze geloven dat de markt de potentiële kansen van VIC met betrekking tot AD over het hoofd ziet. Ze redeneren dat VIC technologische knelpunten wegneemt en daardoor AD makkelijker te realiseren is dan via AI-technologie.

Het idee in China is om in eerste instantie snelwegen te creëren die klaar zijn voor autonome vrachtwagens en in een later stadium ook personenwagens. Om het maximale AD niveau te realiseren wil China per km een heel pakket installeren: 50 camera's, 20 radars met millimetergolven en 10 intelligente installaties langs de kant van de weg (Gibbs, 2021).

⁴² Volgens een inschatting van ACEA zou de betrouwbaarheid van ISA louter gebaseerd op verkeersbordenherkenning beperkt blijven tot ongeveer 50 %. Het aanspreken van andere gegevensbronnen is onvermijdelijk om een voldoende betrouwbaarheidsniveau te bereiken (ACEA, 2021).

⁴³ Nieuwe verkeerslichten in Vlaanderen zijn hier al op voorzien (communicatie of optionele uitbreiding mogelijk)

⁴⁴ Gedelegeerde Verordening (EU) 2021/1958, 2021 vraagt dat ISA-systemen het snelheidsregime in gemiddeld 90 % van de gevallen correct herkennen. Volgens ACEA zouden systemen die louter gebaseerd zijn op herkenning van verkeersborden een betrouwbaarheid van 50 % halen.

5.9 Communicatie tussen AV en kwetsbare weggebruikers (Tabone et al., 2021)

Uit een publicatie van 2021 over onderzoek naar de **visie van human factors-onderzoekers** over de toekomst van interactie tussen autonome voertuigen en kwetsbare weggebruikers wordt vooral duidelijk dat het aspect “infrastructuur” voor hen eerder onduidelijk is.

In het algemeen waren deze onderzoekers het eens dat volledig autonome voertuigen niet snel zullen worden geïntroduceerd, dat slimme infrastructuur en verkeersscheiding als cruciaal maar kostbaar werden beschouwd. AR (*Augmented Reality*) werd gezien als veelbelovend, maar men oordeelt dat impliciete (non-verbale) communicatie vooralsnog dominant blijft en moeilijk te vervangen is door enkel het detecteren van conflictsituaties door voertuigsensoren. De toepassing van eHMI's (*external human-machine interfaces*), boodschappen van het voertuig aan andere weggebruikers, zou deze non-verbale communicatie tussen mensen kunnen ondervangen. Voorlopig echter lijken conceptoplossingen niet voldoende doorontwikkeld.

eHMI voor zelfrijdende voertuigen ten behoeve van kwetsbare weggebruikers zijn systemen die toelaten om ook weggebruikers buiten het voertuig (“machine”) te informeren.



Figuur 5.10 – Voorbeeld van een voertuig met meerdere informatieschermen om te communiceren met voetgangers (Volkswagen Tiguan) – projectie van oversteekplaats (Duff, 2015; *Light staging and exterior HMI*, 2018)

Specifiek voor wat betreft de **onzekerheid over weginfrastructuur** is het illustratief om een greep te doen uit de commentaren van de onderzoekers: het is vooral koffiedik kijken (bijlage 3).

5.10 Weersomstandigheden (Hoe beïnvloedt het weer de verkeersveiligheid, 2023; Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid [SWOV], 2023)

Ontegenzeggelijk heeft het weer invloed op het weggedrag en de verkeersveiligheid. De weersomstandigheden hebben invloed op zowel de kans als de gevolgen van een ongeval. We hebben het dan over diverse omstandigheden: regen, hagel, sneeuw, ijsvorming, hitte en ook laagstaande zon. Bij regen, sneeuw en hagel neemt de **stroefheid van het wegdek** af, en bestaat een verhoogd risico dat een voertuig in een slip terecht komt. Bij mist neemt het zicht af, maar rijden voertuigen in de regel dicht op elkaar. Laagstaande zon zorgt ook voor verminderd zicht, wat nog versterkt wordt als water op de weg het zonlicht weerkaatst. Wind heeft met name effect op de wegligging van hoge voertuigen.

Afhankelijk van het type weer passen mensen hun gedrag aan, door een ander vervoermiddel te nemen of voorzichtigheid te betrachten. Zo halen automobilisten in het algemeen minder in bij regen, rijden ze minder snel en rijden ze minder dicht op elkaar.

Uit onderzoek blijkt dat het **risico op een ongeval** in dergelijke omstandigheden hoger kan liggen dan bij “normaal” weer, ondanks de aanpassingen van het rijgedrag. Nederlands onderzoek schat dat 5 % van de verkeersdoden rechtstreeks gelinkt is aan weersomstandigheden. Daar blijkt verder dat de kans op een ongeval op autosnelwegen bij regen toeneemt met 35 % tot 182 %, en bij ijsvorming zelfs tussen de 77 % en 245 %. De kanttekening hierbij is dat ongevallen bij neerslag minder ernstig zijn.

Er is hierbij ook in moeilijke weersomstandigheden een **groot potentieel aan verkeersveiligheids-winst**. Vragen over het presteren van autonome voertuigen zijn:

- Hebben autonome voertuigen met hun sensoren en waarschuwingssystemen ook in deze moeilijkere weersomstandigheden het vermogen om objecten en gebeurtenissen in hun omgeving correct te detecteren?
- En kunnen ze dan met die informatie de juiste keuze maken (snelheid aanpassen, een manoeuvre uitvoeren, de wagen stoppen, vragen of een inzittende de besturing kan overnemen, enz.)?

In de Verenigde Staten werd onderzocht hoe **ongunstige weersomstandigheden** in verschillende rijomgevingen de AV-dynamiek en -activiteiten, het gedrag van de bestuurder (in de betekenis van disengagements), communicatie en AV-sensormogelijkheden beïnvloeden (Coventry et al., 2022; Neumeister & Pape, 2019).

Prestaties bij slecht weer leken een factor te zijn in de benadering van automatisering ter ondersteuning van bestuurdersassistentie door elk AV-model dat in twee onderzoeksperiodes werd getest. Enkele bevindingen⁴⁵:

- **systemen met alleen camera** werken het minst goed bij slecht weer. Radar- en camerasystemen waren nog steeds gevoelig voor regen en ijs, maar minder als het systeem met alleen zicht;
- schittering van de zon leek geen invloed te hebben op het enige voertuig dat kon worden getest;
- **regen** had een significant effect op twee van de drie voertuigen voor high speed lane following. Regen had alleen invloed op het vision only-systeem voor *Lane Departure Warning* en de *Traffic Jam Assist*;
- **ijs of sneeuw** op de radar en camera schakelden de veiligheidssystemen van alle voertuigen uit. Eén voertuig kon opereren met de camera afgedekt en een ander kon opereren met de radar afgedekt. Vanwege tijdgebrek kon het omgekeerde voor elk van de voertuigen niet worden getest.

⁴⁵ bijlage 1.

In dezelfde studie uit de Verenigde Staten werden tijdens een workshop volgende **beperkingen** van autonome voertuigen bij slecht weer genoteerd:

- er zijn geen goede methoden om te beslissen of een trip onder automatisering moet beginnen of doorgaan;
- wegbeheerders (staatsniveau en gemeentelijk niveau) zijn slecht toegerust om advies te geven over automatisering en fabrikanten maken geen reclame voor de beperkingen van hun producten;
- hoewel de ODD moet worden gespecificeerd door de voertuigfabrikant, is het niet duidelijk wie verantwoordelijk is voor het bepalen of de huidige of voorspelde omstandigheden binnen de ODD vallen;
- wegbeheerders (staatsniveau en gemeentelijk niveau) zijn bezorgd dat ze gevraagd kunnen worden een nieuwe verantwoordelijkheid op zich te nemen met betrekking tot AV-operaties, zoals beslissingen nemen over wanneer wegen moeten worden afgesloten;
- weergegerelateerde beperkingen van AV's worden niet goed begrepen.

5.11 Praktijkvoorbeeld van ADAS en Safe System Approach (mens – omgeving – voertuig)

ADAS (Driver assistance technology, s.d.) staat voor geavanceerde rijhulpsystemen op voertuigen. Sommige technologieën voor bestuurdersassistentie zijn ontworpen om de bestuurder te **waarschuwen** als er een ongeval dreigt plaats te vinden, terwijl andere technologieën zijn ontworpen om **actie te ondernemen** om een ongeval te voorkomen.

Het is essentieel om te begrijpen hoe de technologie werkt, binnen welke randvoorwaarden en hoe deze de inzittenden en anderen kan beschermen. Er is behoefte aan **vorming** van de bestuurders. Onderzoek toont aan dat een behoorlijk deel van de bestuurders ADAS niet voldoende kennen en niet gebruiken (Brown, 2018; Caster, 2021).

Wat is nu in de praktijk van een rijtaakondersteunend systeem de rol van fysieke weginfrastructuur? Op welke manier kan infrastructuur bijdragen aan het betrouwbaar functioneren van rijtaakondersteunende systemen? Om daar een antwoord op te geven beschrijven we in stapjes wat er plaatsvindt op het vlak van de mens, omgeving en voertuig bij een ADAS, de **lane keeping assistant** (LKA).

- Een LKA gebruikt wegmarkeringen om de rijstrook (de infrastructuur) te analyseren.
- Het voertuig geeft een signaal aan de bestuurder van zodra het voertuig de rijstrook dreigt te verlaten.
- Een zichtbare wegmarkering (infrastructuur) ondersteunt de menselijke bestuurder (niet-CAV) en draagt op die manier bij aan een beter rijgedrag en minder ongevallen (waardevol voor mens, voertuig en milieu).
- Anderzijds zijn evoluerende technologie en beter functionerende LKA beter in staat om ook minder zichtbare wegmarkeringen te detecteren. Indien nodig, kan het voertuig een signaal geven aan de bestuurder om zijn of haar gedrag aan te passen.

Zulke ontwikkelingen lijken te suggereren dat het belang van goed zichtbare markeringen afneemt naarmate er meer geavanceerde voertuigen op de markt komen. Niettemin dient er nog geruime tijd rekening te worden gehouden met een mix aan voertuigen zonder of met heel uiteenlopende niveaus van rijtaakondersteuning. Technologische vooruitgang mag dus geen reden zijn om klassieke infrastructuurelementen te verwaarlozen. Afgezien van dat argument, is de vraag ook opportuun waar de limiet ligt van de minimale vereisten van de wegmarkering, voor voertuigen die wel voorzien zijn van geavanceerde detectietechnologie.

Als de mens uit de *loop* wordt gehaald, dan zijn drie elementen van belang die met elkaar in verband staan. Eén ervan gaat over de fysieke infrastructuur:

- kwaliteitsvolle markeringen (fysieke infrastructuur);
- *digital twin* van de rijstrook (digitale infrastructuur);
- radars in voertuigen (voertuigtechnologie).

Een gelijkaardige analyse kan worden gedaan voor andere systemen, zoals **speed assistance**, maar dan gaat het voor wat betreft fysieke weginfrastructuur om de verkeersborden aan de kant van de weg. Die zijn volgens de wegcode bepalend en niet de eventuele *digital twin*. De vraag is in hoeverre, en vanaf wanneer, de wegcode rekening dient te houden met de verdergaande digitalisering, en of de fysieke weginfrastructuur dan nog bepalend zou zijn.

Idem voor **adaptive speed control**. Als een weg er slecht bij ligt (bv. een kippennest), dan kunnen voertuig en bestuurder gedwongen worden af te remmen of zelfs uit te wijken. Zo'n situatie kan dan gevolgen hebben voor andere weggebruikers (opvolgend voertuig, voertuig op andere rijbaan, enz.).



Hoofdstuk 6

Conclusie

Het verbeteren van verkeersveiligheid is voor beleidsmakers en bedrijven een prominente beweegreden om in te zetten op autonome mobiliteit. De geleidelijke intrede van autonome mobiliteit als valabel alternatief voor meer traditionele verplaatsingsvormen is een **uitdaging** die **kansen biedt** voor een verkeersveiliger verkeerssysteem.

Aan de hand van literatuurstudie, discussies met experts en het opvolgen van congressen constateren we dat automatisering van voertuigen geen wondermiddel is, maar wel kan zorgen voor een grote verkeersveiligheidswinst. Er ontstaan evenwel ook nieuwe verkeersveiligheidsrisico's. Redenen daarvoor zijn onder meer:

- er rijden nog lange tijd voertuigen op de weg met verschillende automatiseringsniveaus;
- het overnemen van de besturing door een menselijke bestuurder kan tot 10 seconden duren, wat in heel wat verkeerssituaties minstens als niet optimaal bestempeld kan worden;
- een overdracht bij complexere situaties kan problematisch zijn;
- bestuurders kunnen geleidelijk aan hun rijvaardigheden verliezen;
- de niet-verbale communicatie tussen menselijke verkeersdeelnemers is moeilijk te vatten in geautomatiseerde systemen. eHMI (*external human machine interfaces*) zijn nog niet doorontwikkeld en zijn vooralsnog geen valabel alternatief hiervoor;
- nieuwe systemen vragen gewenning van bestuurders.

Daar komt bij dat de introductie van autonome mobiliteit trager gaat dan enkele jaren geleden voorspeld en gepromoot door sommige experts en ontwikkelaars van autonome voertuigen. De **realiteit** is **weerberstiger** gebleken op allerlei vlakken, zoals de ethische en juridische discussies, maatschappelijke acceptatie, en ook de economische aspecten. De ontwikkeling naar voertuigen die minder vervuילend zijn, vergen veel aandacht en investeringen. Autonome voertuigen staan, naar verwachting tijdelijk, minder vooraan in de noodzakelijke verbetering van het mobiliteitssysteem.

Pleitbezorgers van autonome mobiliteit stellen dat er op **technisch vlak** geen belemmeringen zijn om autonome voertuigen op het wegennet los te laten, ook niet in stedelijke context. Ze verwijzen daarbij naar testen buiten de EU die het niveau van pilootproject zijn ontstegen.

Met betrekking tot het **overdragen van de besturing** naar een menselijke bestuurder neemt het autonome voertuig almaar minder het initiatief. Dit suggereert dat zelfrijdende voertuigen almaar betrouwbaarder functioneren. Verder blijkt uit de beschikbare informatie dat de weginfrastructuur (bv. zichtbaarheid van signalisatie of gebreken in het wegoppervlak) niet de belangrijkste redenen zijn van de *disengagements*.

In de **praktijk** is te zien dat de verkeersongevallen met autonome voertuigen breed worden uitgemeten in de pers. Dat zou ten koste kunnen gaan van het consumentenvertrouwen, maar uit onderzoek blijkt dat het vertrouwen in autonome mobiliteit toch toeneemt. Als de klemtoon op de beoogde verkeersveiligheidswinst komt te liggen, is het aannemelijk dat het vertrouwen nog verder toeneemt.

Een gevolg van de aandacht in de pers voor problemen met zelfrijdende voertuigen, is dat beleidsmakers een bepaalde mate van **terughoudendheid** betrachten ten aanzien van de invoering van autonome voertuigen op onze wegen. Op basis van een analyse van het beperkte aantal verkeersongevallen waarbij zelfrijdende voertuigen zijn betrokken, kunnen we stellen dat dit minstens voor een deel onterecht is: de oorzaak ligt dikwijls bij het conventionele voertuig en de ernst van ongevallen is doorgaans lager.

Er is geen eenduidige methode voor de evaluatie van verkeersveiligheid van autonome voertuigen (of benchmarking met “conventionele”) voertuigen. Om de veiligheid in te schatten is een **combinatie van simulaties en pilootprojecten** het meest volledig, om het ontstaan van een te eenzijdig beeld van het verkeersveiligheidspotentieel te voorkomen. Testen op de openbare weg is wel de meest waarheidsgetrouwe manier om de veiligheid aan te tonen. Dit kan in volledige zelfrijdende modus of in een *shadow mode*, waarin het algoritme de menselijke gedragingen observeert en vergelijkt met acties die het zelf zou ondernemen. Dat maakt een bijsturing van het algoritme mogelijk.

Er zijn nog geen zelfrijdende voertuigen op de consumentenmarkt. De meest geavanceerde voertuigen van deze categorie zijn van SAE-level 3, die voorlopig enkel zijn toegelaten in beperkte en heel specifieke rijomstandigheden. Er rijden al wel robotaxi's op diverse plaatsen in de wereld (VS, China). Grootschalige pilootprojecten lijken vooralsnog beperkt te blijven tot de thuislanden van de bedrijven die deze testen organiseren. In de Europese Unie lijkt er **terughoudendheid** te bestaan voor grootschalige testen, onder meer door onzekerheid over de verkeersveiligheidseffecten.

De **EU** wil van de introductie van zelfrijdende voertuigen een succes maken. Dat kan door veiligheid als een absolute voorwaarde voorop te stellen bij het organiseren van testen of toelaten van autonome voertuigen. Er vinden daarom ook discussies plaats over de voorwaarden onder de welke autonome voertuigen op de wegenis getest of toegestaan worden.

Automobielfabrikanten garanderen de betrouwbare werking van rijtaakondersteunende of zelfrijdende functies bovendien enkel binnen welbepaalde omstandigheden; het zogenaamde **Operational Design Domain (ODD)**. Er zijn echter geen formele afspraken over welke parameters bepalend zijn voor een ODD. Het is wel duidelijk dat er geen eenduidige fysieke standaard is voor “de” weg die klaar is voor autonome voertuigen. Er lijkt een behoorlijke consensus te bestaan dat er geen specifieke wegenis aangelegd moet worden voor autonome voertuigen, maar dat ze gebruik zullen maken van **bestaande wegen**. In het bijzonder in een stedelijke context is dat de enige logische insteek.

Er vinden verkeersongevallen met autonome voertuigen plaats, die terug te wijzen zijn op **stysteemfouten**. Het kan gaan om waarnemingsfouten (bv. door hardwarefouten, bugs in algoritmen), beslissingsfouten (laattijdige informatie, foute informatie) en actiefouten (bv. mechanisch haperen van voertuig, afnemende rijervaring van mensen die de besturing moeten overnemen). Een verdere ontwikkeling van de algoritmen en het toepassen van **artificiële intelligentie** zijn cruciaal om stapsgewijs zulke fouten tot het minimum te reduceren.

Weersomstandigheden beïnvloeden het functioneren van autonome voertuigen. De algoritmen van een autonoom voertuig zijn eerder voorzichtig geprogrammeerd. Het uitschakelen van de beslissing van de menselijke bestuurder kan als een belangrijke verbetering worden gezien. Immers, een deel van de menselijke bestuurders neemt bij ongunstige weersomstandigheden risico's die het autonoom voertuig vermijdt.

Er is consensus dat een **duidelijke en uniforme signalisatie** (verkeersborden, wegmarkeringen) bij kan dragen aan het betrouwbaar functioneren van nieuwe voertuigtechnologieën. Enerzijds kunnen autonome voertuigen steeds beter omgaan met minder goede wegmarkeringen, anderzijds worden bestaande aanbevolen prestaties niet overal gehaald. Daarnaast is het zo dat voertuigen van alle automatiseringsniveaus geruime tijd gebruik zullen blijven maken van de huidige wegen. Onder bepaalde weersomstandigheden is het correct lezen van verkeersborden en wegmarkering een uitdaging.

Connectiviteit kan bijdragen aan het beter functioneren van AV maar is geen absolute voorwaarde. Er is onenigheid of veiligheid afhankelijk dient te zijn van connectiviteit. Een argument om de werking van veiligheidscritische functies **niet afhankelijk te maken** van connectiviteit is de mogelijkheid dat communicatie wegvalt of dat er al dan niet kwaadwillig foutieve informatie wordt doorgespeeld.

In het beleid zien we een streven naar nul verkeersdoden in 2050. De recente beleidsdocumenten zijn gelinkt aan de integrale aanpak genaamd **Safe System Approach**. Dit systeem gaat onder meer uit van een gedeelde verantwoordelijkheid. Het stelt dat de mens fouten kan maken, en dat het systeem zo moet worden geconfigureerd dat menselijke fouten en onvoorspelbaar gedrag niet leiden tot ernstige ongevallen. Hetzelfde is te zeggen over autonome voertuigen: ook zij kunnen een fout maken, of het algoritme is nog niet voldoende ontwikkeld. Ook met betrekking tot autonome voertuigen geldt dat het beleid erop gericht moet zijn om **ernstige ongevallen te voorkomen**. Concreet: het correct functioneren van rijtaakondersteunende of zelfrijdende systemen hangt af van de correcte werking van deze systemen, maar evengoed van een duidelijke **leesbare wegomgeving** en het betrouwbaar functioneren van communicatievoorzieningen. De shift naar autonome mobiliteit benadrukt in die zin nog meer het belang van een goede samenwerking tussen de verschillende stakeholders.

Zelfrijdende voertuigen slagen er almaar beter in zich te lokaliseren op basis van GPS-data.

Onvoldoende harmonisatie van verkeersborden, verminderde zichtbaarheid door vervuiling of blootstelling aan weersomstandigheden, specifieke aanvullende regels aan de hand van onderborden en impliciete regels (bijvoorbeeld snelheidsregime na het einde van de bebouwde kom) maken het voor **ISA-systemen** moeilijk om met de vereiste betrouwbaarheid het correcte snelheidsregime aan te geven. Het verhogen van de betrouwbaarheid van deze systemen vereist externe informatiebronnen (digital maps) en extra inspanningen met betrekking tot de aanduiding van het snelheidsregime door middel van fysieke signalisatie.

Tot slot, wegbeheerders hebben behoefte aan duidelijke aanbevelingen over de infrastructuurkenmerken die zelfrijdend vervoer kunnen bevorderen. Het gaat dan in eerste instantie over de vereisten voor fysieke elementen van signalisatie (verkeersborden, wegmarkeringen), maar het kan ook gaan over de ontwikkeling van AI-systemen of slimme wegkantunits.

De **ITS-richtlijn** (Richtlijn 2010/40/EU, 2010) en daarbij horende regelgeving verplichten al om bepaalde verkeersinformatie (o.a. voor wegenwerken van korte duur) ter beschikking te stellen van weggebruikers. Geavanceerde (geconnecteerde) voertuigen kunnen bijdragen aan het efficiënter ter beschikking stellen van deze informatie aan alle weggebruikers.



Hoofdstuk 7

Literatuurlijst

50 years on, the 1968 Conventions on road traffic and road signs and signals are still at the core of road safety efforts worldwide. (2018, November 7). *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*. <https://unece.org/transport/press/50-years-1968-conventions-road-traffic-and-road-signs-and-signals-are-still-core>

2020 assisted driving tests. (2020). *Euro NCAP*. <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/safety-campaigns/2020-assisted-driving-tests/>

Adaptive cruise control uit in de tunnel. (2021, februari 19). *Westerschelde tunnel*. <https://www.westerscheldetunnel.nl/nl/actueel/adaptive-cruise-control-uit-in-de-tunnel/>

ADS Team. (s.d.). Driving automation systems: Advanced driver assistance systems (ADAS) and automated driving systems (ADS). *SFMTA*. <https://www.sfmta.com/projects/driving-automation-systems-advanced-driver-assistance-systems-adas-and-automated-driving>

AEB pedestrian. (2023). *Euro NCAP*. <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/aeb-pedestrian>

Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021, September 29). *Werfsignalisatie 6de categorie op autosnelwegen en wegen > 90kmu: Aanrij-, opstellings- en afrijprocedure inzake botsers* (AVW Dienstorder No. MOW/AWV/2021/9). <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/MOW-AWV-2021-9.pdf>

All for zero: Een gedeelde visie over verkeersveiligheid in België. (2021). <https://all-for-zero.be/storage/minisites/all-for-zero-nl.pdf>

Beeckman, H. (2021, December 14). Eerste (deels) zelfrijdende auto's krijgen groen licht van Duitse overheid, maar er zijn ook bedenkingen. *VRT nws*. https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/12/14/_onderzoek-ongevallen-met-semi-zelfrijdende-autos-zoals-vliegtui/

Belgian Federal Police. (2022, januari 15). *Kijk Uit: Autoveiligheidssystemen* [Video]. *YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=of4JRXVigRO>

Bellan, R. (2022, May 18). Waymo is expanding its driverless program in Phoenix. *TechCrunch*. https://techcrunch.com/2022/05/18/waymo-is-expanding-its-driverless-program-in-phoenix/?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xLmNvbS8&guce_referrer_sjg=AQAAAAAwF98uPMzjBcpJp_GRWVNZDFOqORd1r9mu5KgAP3ldAuU2oUkZq-XZa213DUcuDZvoLTTt4ZEFWjU1OhUP3s_RkoVqyM0B3hl83n54PORCYN9omiY5yEK4VZxbTRaM9ngWVuUtpQgLFjceLNyN-GyvE7QXWWT_y7R6-nXZIYGZ6&gucounter=2

Benam, B. (2021, September 14). Human factors and using of AI applications in autonomous vehicles: Reliable interaction between humans and autonomous vehicles is fundamental for the safety of all road users. *Medium*. <https://medium.com/rewrite-tech/human-factors-and-using-of-ai-applications-in-autonomous-vehicles-cba41c84208a>

- Brooks, R. (2017, July 27). The big problem with self-driving cars is people: And we'll go out of our way to make the problem worse. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/the-big-problem-with-selfdriving-cars-is-people>
- Brown, B. (2018, September 28). Car owners have too much faith in advanced driver assistance aids, AAA says. *Digitaltrends*. <https://www.digitaltrends.com/cars/aaa-study-drivers-like-dont-understand-adas/>
- Caster, S. (2021, September 24). Look ma, no hands: People don't understand how to use driver-assist systems safety: Advanced driver-assist systems can lull drivers into taking their hands off the wheel and eyes of the road when they shouldn't. *The Next Web (TNW)*. <https://thenextweb.com/news/people-dont-understand-how-to-use-driver-assist-systems-safely-syndication>
- Coventry, T., Johnson, D. & Davis, G. (2022, February 7-11). Automated vehicles and adverse weather [Paper presentation]. In *16th world winter service and road resilience congress, Calgary, Canada*. World Road Association (PIARC). <https://proceedings-calgary2022.piarc.org/ressources/files/3/IP0167-Coventry-E-Full.pdf>
- de Boer, Y. (2021, juni 18). Autonome auto's: Welvaartswinst, maar dat niet alleen. *Verkeerskunde*. <https://www.verkeerskunde.nl/artikel/autonome-autos-welvaartswinst-maar-dat-niet-alleen>
- De Bruyne, J. (2021). *Autonome motorvoertuigen: Een multidisciplinair onderzoek naar de maatschappelijke impact*. Vanden Broele. <https://catalogus.vandenbroele.be/fondscatalogus/845.aspx>
- Decreet houdende de uitwisseling van informatie over een inname van het openbaar domein in het Vlaamse Gewest (GIPOD-decreet). (2014, april 4). Vlaamse Overheid. <https://codex.vlaanderen.be/Portals/Codex/documenten/1024277.html>
- Detroz, A., James, A. & Simon, M. (2023, janvier 5). « On a d'abord pensé à une scan-car »: Quelle est cette étrange voiture croisée par Isabelle dans les rues de Bruxelles ? *RTL info*. <https://www.rtl.be/actu/vos-temoignages/dabord-pense-une-scan-car-quelle-est-cette-etrange-voiture-croisee-par-isabelle/2023-01-05/article/515747>
- Digital twin. (2023, September 14). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin
- Dixit, V.V., Chand, S. & Nair, D.J. (2016). Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times. *PLoS ONE*, 11(12), Article e0168054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168054>
- Driver assistance technologies. (s.d.). *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)*. <https://www.nhtsa.gov/equipment/driver-assistance-technologies#61936>
- Drivers let their focus slip as they get used to partial automation. (2020, November 19). *IIHS-HLDI*. <https://www.iihs.org/news/detail/drivers-let-their-focus-slip-as-they-get-used-to-partial-automation>
- Duff, C. (2015, April 10). Mercedes demonstrates new autonomous car. *carsguide*. <https://www.carsguide.com.au/car-news/mercedes-demonstrates-new-autonomous-car-31622>
- Euro NCAP. (2020). *Assisted driving: Highway assists systems: Test & assessment protocol (Version 1.0)*. <https://cdn.euroncap.com/media/58813/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v10.pdf>

- European Automobile Manufacturers Association (ACEA). (2019a). *Road safety: Safe vehicles, safe drivers, safe roads*.
https://www.roadsafetyfacts.eu/themes/ACEA-Road-Safety-Facts/img/ACEA_Road_Safety.pdf
- European Automobile Manufacturers Association (ACEA). (2019b). *Automated driving: Roadmap for the deployment of automated driving in the European Union*.
https://www.acea.auto/files/ACEA_Automated_Driving_Roadmap.pdf
- European Automobile Manufacturers Association (ACEA). (2021). *Intelligent speed assistance ISA: ACEA feedback and position* [Presentation]. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12222-Voertuigveiligheid-technische-voorschriften-en-testprocedures-voor-intelligente-snelheidssteuning/F2256534_nl
- European Committee for Standardization (CEN). (2018-2022). *Intelligent transport systems: DATEX II data exchange specifications for traffic management and information* (EN 16157-[1-12]). <https://www.en-standard.eu/search/?q=16157>
- European Parliament resolution P9_TA(2021)0407 of 6 October 2021 on the EU road safety policy framework 2021-2030: Recommendations on next steps towards 'vision zero' (2021/2014(INI)). (2021).
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0407_EN.html
- Favaro, F., Eurich, S., Rizvi, S., Agarwal, S., Mahmood, S. & Nader, N. (2019, August 21). What happens when autonomous vehicle technology fails? *Mineta*.
<https://transweb.sjsu.edu/press/What-Happens-When-Autonomous-Vehicle-Technology-Fails>
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer (FOD Mobiliteit & Vervoer). *Autonome voertuigen: Gedragscode voor testen in België*.
- Feng, S., Yan, X., Sun, H., Feng, Y. & Liu, H.X. (2021). Intelligent driving intelligence test for autonomous vehicles with naturalistic and adversarial environment. *Nature communications*, 12, Article 748. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21007-8>
- Finnish Transport Infrastructure Agency. (s.d.). Warning signs: A3.2: Dangerous descent.
<https://vayla.fi/en/transport-network/road-signs/warning-signs#nanogallery/undefined/72157717641261436>
- Garcia Garcia, A., Camacho Torregrosa, F.J., Llopis Castelló, D. & Monserrat del Rio, J.F. (2021). *Smart roads classification: A PIARC special report* (PIARC Report No. 2021SP01EN). World Road Association (PIARC). <https://www.piarc.org/en/order-library/36443-en-Smart%20Roads%20Classification#:~:text=SAE%20level%20%20applies%20to,position%E2%80%933%20at%20the%20same%20time>
- Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 886/2013 van de Commissie van 15 mei 2013 tot aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad met betrekking tot de gegevens en procedures voor het aanbieden, waar mogelijk, van minimale universele verkeersveiligheidsinformatie die kosteloos is voor de gebruikers (Voor de EER relevante tekst). (2013, september 18). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L247), 6-10.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0886>
- Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/962 van de Commissie van 18 december 2014 ter aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad wat de verlening van EU-wijde realtimeverkeersinformatiediensten betreft (Voor de EER relevante tekst). (2015, juni 23). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L 157), 21-31.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0962&qid=1695636760643>

Gedelegeerde Verordening (EU) 2021/1958 van de Commissie van 23 juni 2021 tot aanvulling van Verordening (EU) 2019/2144 van het Europees Parlement en de Raad met uitvoeringsbepalingen voor de specifieke testprocedures en technische voorschriften voor de typegoedkeuring van motorvoertuigen wat de systemen voor intelligente snelheidsondersteuning betreft en voor de typegoedkeuring van die systemen als technische eenheden en tot wijziging van bijlage II bij die verordening (Voor de EER relevante tekst). (2021, november 17). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L409), 1-161.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1958&qid=1695646933218>

Gedelegeerde Verordening (EU) 2022/670 van de Commissie van 2 februari 2022 ter aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad wat betreft de verlening van EU-wijde realtimeverkeersinformatiediensten (Voor de EER relevante tekst). (2022, april 25). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L 122), 1-16.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0670&qid=1695636037829>

Geneva Convention on Road Traffic, September 19, 1949,

http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/Convention_on_Road_Traffic_of_1949.pdf

Gibbs, N. (2021). Trendsanalyse: Voorzichtig optimisme over autonoom rijden. *Autovisie*, (1), 12-15.

Heyndrickx, S. (2016, oktober 6). Nieuwe gedragscode regelt testen van autonome voertuigen op de openbare weg. *news.belgium*. <https://news.belgium.be/nl/nieuwe-gedragscode-regelt-testen-van-autonome-voertuigen-op-de-openbare-weg>

HERE releases global library of terrestrial lidar data for real-world 3D modelling applications. (s.d.). *IoT Automotive news*. <https://iot-automotive.news/here-technologies-spotlight-news/>

Highlights from the 2022 automated road transportation symposium [Workshop 1006] (2023, January 8-12). *102nd Transportation Research Board annual meeting, Washington*. Transportation Research Board (TRB). <https://annualmeeting.mytrb.org/OnlineProgramArchive/Details/18955>

Hillen, D. (2020). *Model-based identification of operational design domains for dynamic risk assessment of autonomous vehicles* [Master thesis]. Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27374.84803>

Hoe beïnvloedt het weer de verkeersveiligheid? (2023). *Het Weer*.

<https://hetweermagazine.nl/artikelen/hoe-be%C3%AFnvloedt-het-weer-de-verkeersveiligheid>

How can automated and connected vehicles improve road safety? (s.d.). *Road safety facts.eu*.

<https://roadsafetyfacts.eu/how-can-automated-and-connected-vehicles-improve-road-safety/>

How does remote driving work? (2022). *Ottopia*.

https://ottopia.tech/ottopedia_items/how-does-remote-driving-work/#:~:text=What%20is%20Remote%20Driving%3F,teleoperator%20from%20a%20remote%20location

How USD300bn of smart infrastructure may accelerate autonomous driving.

(2022, September 7). *UBS Investment Bank*.

<https://www.ubs.com/global/en/investment-bank/in-focus/2022/china-infrastructure.html>

- IIHS president: Vehicle technology is not a silver bullet for safety. (2023, March 7). IIHS-HLDI. <https://www.iihs.org/news/detail/iihs-president-vehicle-technology-is-not-a-silver-bullet-for-safety>
- Infrastructure categorization: ISAD levels. (2017). Inframix. <https://www.inframix.eu/infrastructure-categorization/>
- Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) & Highway Loss Data Institute (HLDI). (2023). *Real-world benefits of crash avoidance technologies*. <https://www.iihs.org/media/290e24fd-a8ab-4f07-9d92-737b909a4b5e/oOlxAw/Topics/ADVANCED%20DRIVER%20ASSISTANCE/IIHS-HLDI-CA-benefits.pdf>
- International Transport Forum (ITF). (2015). *Automated and autonomous driving: Regulation under uncertainty* (Corporate Partnership Board [CPB] Report). https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_autonomousdriving.pdf
- International Transport Forum (ITF). (2016). *Zero road deaths and serious injuries: Leading a paradigm shift to a safe system* (ITF Research Report). <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/zero-road-deaths.pdf>
- International Transport Forum (ITF). (2018). *Safer roads with automated vehicles?* (Corporate Partnership Board [CPB] Report). <https://www.itf-oecd.org/safer-roads-automated-vehicles-0>
- ITS.be. (2022, June 8). ISA as a stepping stone to autonomous driving [Webinar].
- Kalra, N. & Paddock, S.M. (2016). *Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability?* Rand Corporation. http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1478.html
- Klem, E. (2022). *Infrastructuur gereed voor slimme voertuigen: Kostenraming aanpassen markering en snelheidsborden* (Royal Haskoning DHV Rapport No. BI7265-MI-RP-221122-1318). Royal HaskoningDHV. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-b347ee1c3f6aeea69f151cba399945c9efcd1cdc/1/pdf/Eindrappport%20Infrastructuur%20gereed%20voor%20slimme%20voertuigen.pdf>
- Light staging and exterior HMI: Tiguan: Visual modality. (2018, October 17). VW Newsroom. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/evolution-of-light-4261/light-staging-and-exterior-hmi-tiguan-visual-modality-4266>
- Litzler, J-B. (2019, juli 15). Déçue par sa navette autonome, La Défense arrête l'expérience. *Le figaro*. Opgehaald van https://immobilier.lefigaro.fr/article/decue-par-sa-navette-autonome-la-defense-arrete-l-experience_21ebcd88-a4d5-11e9-a13f-3957458a90bd/
- Marr, J., Bengamin, S. & Zhang, A. (2020). *Implications of pavement markings for machine vision* (Austroads Research Report No. AP-R633-20). Austroads. <https://austroads.com.au/publications/connected-and-automated-vehicles/ap-r633-20>
- Mercedes-Benz Group. (2023). *The front runner in automated driving and safety technologies*. <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot-2.html>
- Metamorworks. (2017). Communication sans fil de piétons, véhicules et signaux, système de surveillance de trafic [Image]. iStock. https://media.istockphoto.com/id/690704442/fr/vectoriel/communication-sans-fil-de-pi%C3%A9tons-v%C3%A9hicules-et-signaux-syst%C3%A8me-de-surveillance-de-traffic.jpg?s=1024x1024&w=is&k=20&c=FeS2HpGaRwMFnGLHpwwh_qBaWTeqES0dwIFdhwCdUaU=

- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (s.d.). *Mobility as a service (MaaS): Multimodaal reisadvies op maat*. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/mobiliteit-nu-en-in-de-toekomst/mobility-as-a-service-maas>
- Mobileye kicks off AV pilot in Germany. (2023, January 4). Mobileye. <https://www.mobileye.com/news/mobileye-kicks-off-av-pilot-in-germany/>
- Mobileye SuperVision: The bridge to consumer Avs. (2023). Mobileye. <https://www.mobileye.com/solutions/super-vision/>
- National Driving School. (2023). Roads signs Ireland: Steep decent ahead. <https://nationaldrivingschool.ie/road-signs-ireland/>
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (s.d.). *National statistics*. <https://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx>
- Neumeister, D.M. & Pape, D.B. (2019). *Automated vehicles and adverse weather: Final Report* (FHWA Report No. FHWA-JPO-19-755). US Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/43772>
- New autonomous driving law enters into force in Germany. (2021, July 29). *European Association of Automotive Suppliers (CLEPA) Mediaroom*. <https://clepa.eu/mediaroom/new-autonomous-driving-law-enters-into-force-in-germany/>
- Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2019). *Wie stuurt?: Verkeersveiligheid en automatisering in het wegverkeer*. <https://www.onderzoeksraad.nl/nl/page/4729/wie-stuurt-verkeersveiligheid-en-automatisering-in-het-wegverkeer>
- Oorzaakanalyse uitgelegd aan de hand van voorbeelden en methodes. (s.d.). *Tableau*. <https://www.tableau.com/nl-nl/learn/articles/root-cause-analysis>
- Partnership for Analytics Research in Traffic Safety (PARTS). (2022). *Real-world effectiveness of model year 2015-2020 advanced driver assistance systems*. https://www.mitre.org/sites/default/files/2022-11/pr%2022-3734-PARTS-real-world-effectiveness-model-year-2015-2020-advance-driver-assistance-systems_0.pdf
- Petrović, Đ., Mijailović, R. & Pešić, D. (2020). Traffic accidents with autonomous vehicles: Type of collisions, manoeuvres and errors of conventional vehicles' drivers. *Transportation research procedia*, 45, 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.003>
- Pilet, C., Vernet, C. & Martin, J.-L. (2021). Estimated crash avoidance with the hypothetical introduction of automated vehicles: A simulation based on experts' assessment from French in-depth data. *European transport research review*, 13, Article 65. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00521-2>
- Pingol, E. (2021, August 20). Level 4 autonomous cars allowed on German roads. *Trend Micro*. https://www.trendmicro.com/en_nz/research/21/h/level-4-autonomous-cars-allowed-on-german-roads.html
- Pinton, E. (2020). As automotive electronics become more complex, the quest is on for economical ways to cover the widest possible range of requirements. *issuu*. https://issuu.com/wtwhmedia/docs/autonomous_and_connected_vehicles_hb_08-20/s/10884425
- Pokorny, P., Skender, B., Bjørnskau, T. & Hagenzieker, M.P. (2021). Video observation of encounters

- between the automated shuttles and other traffic participants along an approach to right-hand priority T-intersection. *European transport research review* 13, Article 59. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00518-x>
- Pritchard, J. (2015, May 12). Google acknowledges 11 accidents involving self-driving cars in 6 years. *Global NEWS*. <https://globalnews.ca/news/1992930/google-acknowledges-11-accidents-involving-self-driving-cars-in-6-years/>
- Redant, K. & Van Geelen, H. (2021). *Connected & autonomous vehicles en weginfrastructuur: Stand van zaken en toekomstverkenning* (OCW Synthese No. SN 51). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/connected-autonomous-vehicles-weginfrastructuur>
- Ren, W., Yu, B., Chen, Y. & Gao, K. (2022). Divergent effects of factors on crash severity under autonomous and conventional driving modus using a hierarchical Bayesian approach. *International journal of environmental research and public health*, 19(18), Article 11358. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811358>
- Richtlijn 2010/40/EU van het Europees parlement en de Raad van 7 juli 2010 betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen (Voor de EER relevante tekst). (2010, augustus 6). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L207), 1-13. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0040&qid=1695634863655>
- Richtlijn (EU) 2019/1936 van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2019 tot wijziging van Richtlijn 2008/96/EG betreffende het beheer van de verkeersveiligheid van weginfrastructuur. (2019, november 26). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L305), 1-16. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1936&qid=1695635509051>
- Roadsigns in Norway: What do road signs in Norway mean?: Steep descent ahead. (2023). Rhinocarhire.com. <https://www.rhinocarhire.com/Drive-Smart-Blog/Drive-Smart-Norway/Norway-Road-Signs.aspx>
- SAE International. (2018, December 11). SAE International releases updated visual chart for its “levels of driving automation” standard for self-driving vehicles. *SAE International*. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
- SAE International. (2021a). *SAE J3016 levels of driving automation*. https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/blog/sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf
- SAE International. (2021b, July 15). Taxonomy & definitions for operational design domain (ODD) for driving automation systems J3259. *SAE International*. <https://www.sae.org/standards/content/j3259/>
- Staten-Generaal 2021. (2021). *All for zero*. <https://www.all-for-zero.be/nl/staten-generaal/staten-generaal-2/>
- Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV). (2023). *De invloed van het weer* (SWOV Factsheet). <https://swov.nl/nl/factsheet/de-invloed-van-het-weer>
- Sun, R., Nehmad, M., Hu, J., Lawrence, T., Niehaus, J. & Dawkins, T. (2021, June 18). Why

- autonomous vehicles need a large-system approach to safety. *World economic forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/autonomous-vehicles-safety-large-systems-approach/>
- Tabone, W., de Winter, J., Ackermann, C., Bärghman, J., Baumann, M., Deb, S., Emmenegger, C., Habibovic, A., Hagenzieker, M., Hancock, P.A., Happee, R., Krems, J., Lee, J.D., Martens, M., Merat, N., Norman, D., Sheridan, T.B. & Stanton, N.A. (2021). Vulnerable road users and the coming wave of automated vehicles: Expert perspectives. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 9, Article 100293. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100293>
- Tom Tom. (2022, June 8). Introduction to intelligent speed adaptation [Presentation]. In *Webinar ISA as a stepping stone to autonomous driving*. ITS.be.
- Torchinsky, J. (2022, April 5). Level 3 autonomy is confusing garbage. *The Autopian*. <https://www.theautopian.com/level-3-autonomy-is-confusing-garbage/>
- Treat, J.R., Tumbas, N.S., McDonald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., Stansifer, R.L. & Castellan, N.J. (1979). *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Executive summary* (US Department of Transportation Report No. DOT HS- 805 099). US Department of Transportation (US DOT), National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/64993>
- United Nations (UN). (2021, March 4). United Nations agreement concerning the adoption of harmonized technical United Nations Regulations for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these United Nations Regulations. Addendum 156: UN Regulation No. 157: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to automated lane keeping systems (No. E/ECE/TRANS/505/Rev.3/Add.156). <https://unece.org/transport/documents/2021/03/standards/un-regulation-no-157-automated-lane-keeping-systems-alks>
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Inland Transport Committee, Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles. (2022, May 30). *Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157: Automated lane keeping systems*. United Nations (UN), Economic and Social Council. <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/ECE-TRANS-WP.29-2022-59r1e.pdf>
- United Nations (UN) General Assembly. (2020, August 31). *Improving global road safety* (United Nations General Assembly Resolution No. A/RES/74/299). https://digitallibrary.un.org/record/3879711/files/A_RES_74_299-EN.pdf
- US Department of Transportation (US DOT), Federal Highway Administration (FHWA). (2023). *Manual on uniform traffic control devices for streets and highways* (Eleventh edition) [Manuscript in preparation]. <https://mutcd.fhwa.dot.gov/>
- Verkeersbord SB250 A3: Gevaarlijke daling. (2023). Verkeersbord.be. <https://www.verkeersbord.be/p/6707/belgische-verkeersborden/a-serie-gevaarsborden/verkeersbord-sb250-a3-gevaarlijke-daling/>
- Verordening (EU) 2019/2144 van het Europees Parlement en de Raad van 27 november 2019 betreffende de voorschriften voor de typegoedkeuring van motorvoertuigen en aanhangwagens daarvan en van systemen, onderdelen en technische eenheden die voor dergelijke voertuigen zijn bestemd wat de algemene veiligheid ervan en de bescherming van de inzittenden van voertuigen en kwetsbare weggebruikers betreft, tot wijziging van Verordening (EU) 2018/858 van het Europees Parlement en de Raad en tot intrekking

- van de Verordeningen (EG) nr. 78/2009, (EG) nr. 79/2009 en (EG) nr. 661/2009 van het Europees Parlement en de Raad en de Verordeningen (EG) nr. 631/2009, (EU) nr. 406/2010, (EU) nr. 672/2010, (EU) nr. 1003/2010, (EU) nr. 1005/2010, (EU) nr. 1008/2010, (EU) nr. 1009/2010, (EU) nr. 19/2011, (EU) nr. 109/2011, (EU) nr. 458/2011, (EU) nr. 65/2012, (EU) nr. 130/2012, (EU) nr. 347/2012, (EU) nr. 351/2012, (EU) nr. 1230/2012 en (EU) 2015/166 van de Commissie (Voor de EER relevante tekst). (2019). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L 325, 1-40. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=celex%3A32019R2144>
- Viasnoff, E. (2022, June 13). How digital twins will dramatically reduce field testing for autonomous vehicles. *Synopsys: Optical and photonic solutions blog*. <https://blogs.synopsys.com/optical-solutions/2022/06/13/how-digital-twins-will-dramatically-reduce-field-testing-for-autonomous-vehicles/>
- Vienna Convention on Road Signs and Signals, November 8, 1968, <http://live.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/signalse.pdf>
- Vienna Convention on Road Traffic (November 8, 1968). Article 34 bis: Automated driving, July 14, 2022 [https://en.wikisource.org/wiki/Vienna_Convention_on_Road_Traffic_\(2022\)#Article_34_bis:_Automated_driving](https://en.wikisource.org/wiki/Vienna_Convention_on_Road_Traffic_(2022)#Article_34_bis:_Automated_driving)
- Vlaamse Stichting Verkeerskunde (VSV). (2023). *Autonoom rijden: Punt 3* [Eendaagse opleiding]. <https://www.vsv.be/opleidingen-congressen/opleidingen/autonoom-rijden/>
- VSI Labs [@VSI_Labs]. (2021, November 17). In this scene, the use of high contrast lane markers improves the performance of lane keep assist and automated driving [Tweet]. X. https://twitter.com/VSI_Labs/status/1461018195826028556
- Wang, J., Zhang, L., Huang, Y. & Zhao, J. (2020). Safety of autonomous vehicles. *Journal of advanced transportation*, Article 8867757. <https://doi.org/10.1155/2020/8867757>
- Wittock, N. & Wittock, H. (2021). Autonome motorvoertuigen, wat zou een socioloog daarvan denken? In J. De Bruyne (Ed.), *Autonome motorvoertuigen, een multidisciplinair onderzoek naar de maatschappelijke impact*. Vanden Broele. <https://catalogus.vandenbroele.be/fondscatalogus/845.aspx>
- World Health Organization (WHO) & United Nations (UN) Regional Commissions. (2021). *Global plan: Decade of action for road safety 2021-2030*. <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>
- Xue, S., Irannezhad, E. & Karl, C. (2022). *Minimum physical infrastructure standard for the operation of automated driving. Part A: Infrastructure investment* (Austroads Research Report No. AP-R665A-22). Austroads. <https://austroads.com.au/publications/connected-and-automated-vehicles/ap-r665-22>
- Yoshida, J. (2019, April 10). Disengagements: Wrong metric for AV testing. *EETimes*. <https://www.eetimes.com/disengagements-wrong-metric-for-av-testing/>
- Zhang, Y., Yang, X.J. & Zhou, F. (2021). Disengagement cause-and-effect relationships extraction using an NLP pipeline. *arXiv*, Article 2111.03511. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.03511>



Bijlage 1 – Weersomstandigheden (Coventry et al., 2022; Neumeister & Pape, 2019)

Het onderzoek in de Verenigde Staten bestond uit drie fasen. Duidelijk wordt dat er een gestage ontwikkeling gaande is, maar ook dat er nog **uitdagingen** zijn. De resultaten per onderzoeksfase:

Fase 1 van het onderzoek: regen

- Alle geteste AV's presteerden goed in *High-Speed Following* (HSF) en de meeste onder *Low-Speed Following* (LSF) in droge omstandigheden, maar zware of aanhoudende regenval vormde een uitdaging voor alle AV's.
- Alle AV's presteerden goed op het gebied van baanhouden op rechte, droge wegen en bij lichte regenval, maar de prestaties daalden voor alle AV's bij hevige of aanhoudende regenval.
- De prestaties van sommige AV's verbeterden wanneer de rijbaan en wegmarkeringen nat waren (wellicht door het grotere contrast van donkerder asfalt).

Bij ijs en lichte sneeuw (fase 1 van onderzoek)

- Met enige hoeveelheid ijs op de camera's, voerde geen van de AV's *lanekeeping* uit. Zelfs met restwaterdekking (*residual water coverage*) had één AV problemen.
- Met een dun laagje ijs dat de radarsensor bedekt, kan geen enkele AV objecten detecteren of ondersteuning bieden. Eén voerde rijstrookcontrole en LSF uit met een ijsradar en een heldere voorruitcamera.
- Lichte vallende sneeuw had geen invloed op manoeuvres, maar zelfs een bescheiden hoeveelheid sneeuwbrig op delen van een verwarmde radarsensor had invloed op de ACC-functies (*Adaptive Cruise Control*).

Verblindings door de zon (fase 1 van het onderzoek)

- De prestaties van de AV's varieerden van geen impact tot grote impact van verblindings door de zon vanuit een lage hoek bij rijstrooktesten.

Fase 2 van het onderzoek: *Lane Departure* bij vallende sneeuw en sneeuw op de weg

- AV's leken in deze testfase rijstrooklijnen sneller te "zien" dan in fase 1.
- AV's boden verschillende ondersteuningsniveaus, afhankelijk van het betrouwbaarheidsniveau van sensoren.
- AV's voerden *Lane Keeping System* uit met verschillende hoeveelheden informatie - één vereist zicht op beide rijstrookmarkeringen, één kon volgen met één rijstrookmarkering, en één kon volgen met twee of zelfs één lijn / contrast-rand.
- Lichte stuifsnieuw had geen invloed op de prestaties van de AV's.
- AV's presteerden beter bij volledige continue dekking dan bij fragmentarische/ sporadische dekking.

Following manoeuvres in vallende sneeuw, fase 2 van het onderzoek

- Geen van de AV's had veel moeite met volgen in vallende regen of sneeuw.
- Als het leidende voertuig in de sneeuw afweek van zichtbare rijstrookmarkeringen, leidde dat tot één AV zijn voorganger met een korte tussenafstand bleef volgen (en dus ook afweek van de door de markeringen aangeduide rijstrook) (hoewel buiten de geteste omstandigheden).

Lane Departure met schittering van de zon, in een bocht, fase 2 van het onderzoek

- Sommige AV's presteerden goed, maar bleken de bocht af te korten.
- Andere AV's haakten af en vroegen de helft van de tijd om overname.

Fase 3, met SAE-level 2 lane keeping

- AV met hogere mate van automatisering werd niet beïnvloed door winterse omstandigheden om de rijstrook te behouden.
- Besneeuwde wegen met bandensporen hadden een aanzienlijke invloed op het vermogen van AV met een lager niveau van autonomie om de grenzen van de rijstrook te detecteren en erbinnen te blijven.
- Met ijs bedekte wegen hadden geen invloed op de prestaties van deze AV.
- Fase 3, met SAE-level 2, *lane keeping* - verandering van rechterrijstrook.
- Tijdens besneeuwde wegen met bandensporen ervoer AV met een hoger niveau van autonomie af en toe verlies van lokalisatie bij het wisselen van rijstrook.
- AV met lagere rijautomatisering was niet in staat om van rijstrook te wisselen tijdens besneeuwde wegomstandigheden met bandensporen.
- Tijdens de resterende winterse omstandigheden hebben beide AV's de rijstrookwisseling met succes uitgevoerd.

Fase 3 onderzoek met SAE-level 2, groen licht bij gesignaleerde kruising (doorgaande en links afslaande manoeuvres)

- Tijdens besneeuwde wegen ondervond AV met een hoger niveau van autonomie af en toe verlies van lokalisatie bij het maken van een bocht naar links op een kruispunt.
- Andere AV ervaren afwijking van de rijbaan tijdens alle winterse weersomstandigheden.

Detectie van een gestopte wagen (fase 3, met SAE-level 2)

- AV detecteerde de gestopte wagen en kwam onder alle weersomstandigheden volledig tot stilstand zonder de stuurbediening uit te schakelen.



Bijlage 2 – afkortingen

ABS	Anti-lock Braking System	ITS	Intelligent Transport Systems
ACEA	European Automobile Manufacturers Association	KPI	Key Performance Indicator
AEBS	Advanced Emergency Braking System	LCA	Lane Centering Assistance
ACC	Adaptive Cruise Control	LDW	Lane Departure Warning
AD	Automated Driving	LDWS	Lane Departure Warning System
ADS	Automated Driving System	LKS	Lane Keeping Systems
ADAS	Advanced Driver Assistance System	LOSAD	Level Of Service of Automated Driving
AEB	Autonomous Emergency Braking	LKA	Lane Keeping Assistance
AI	Artificial Intelligence	LSF	Low Speed Following
AR	Augmented Reality	LV	Light Vehicle
ARTS	Automated Road Transportation Symposium	MaaS	Mobility as a Service
AV	Autonomous Vehicle	MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices
CACC	Connected Adaptive Cruise Control	NDR-tasks	Non Driving Related tasks
CAV	Connected and Autonomous Vehicles	ODD	Operational Design Domain
CCAM	Connected Cooperative Automated Mobility	PARTS	Partnership for Analytics Research in Traffic Safety
eHMI	External Human Machine Interfaces	PAEB	Pedestrian AEB
EU	Europese Unie	RTTI	Real Time Traffic Information
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme	RISM	Road Infrastructure Safety Management
FCW	Forward Collision Warning	SAE	Society of Automotive Engineers (US)
FHWA	Federal Highways Agency	SRTI	Safety Related Traffic Information
GNSS	Global Navigation Satellite System	VIC	Vehicle Infrastructure Collaboration
GPS	Global Positioning System (US)	VN	Verenigde Naties
HLDI	Highway Loss Data Institute	VRU	Vulnerable Road User
HMI	Human Machine Interface	V2I	Vehicle to Infrastructure
HSF	High Speed Following	V2P	Vehicle to Pedestrian
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety	V2X	Vehicle to Everything
ISA	Intelligent Speed Adaptation	V2V	Vehicle to Vehicle
ISAD	Infrastructure Support for Automated Driving	WHO	World Health Organization



Bijlage 3 – Visie van “human factors”-onderzoekers (Tabone et al., 2021)

- “Misschien zien we infrastructuur zoals lichten op de grond de interactie tussen voetgangers en AV's ondersteunen. Aangezien slimme infrastructuur duur is, is de vraag: wie gaat dat betalen? Slimme infrastructuur zou daarom alleen kunnen worden geïntroduceerd in speciale en geselecteerde gedeelde ruimtes, die met de investering efficiënter zouden kunnen worden. Slimme infrastructuur stelt de AV in staat om zijn perceptuele horizon te vergroten en 'om de hoek te kijken' (detectie van objecten en/of gebeurtenissen buiten het gezichtsveld van de sensoren in het voertuig). *Wearables* zullen waarschijnlijk de perceptie van voetgangers van slimme infrastructuurelementen verbeteren. Ik denk dat dit iets is dat gaat gebeuren en waarschijnlijk zal worden geaccepteerd door verkeersdeelnemers als de privacykwesties goed worden behandeld.”
- “Het is moeilijk te zeggen welke rol slimme infrastructuur in de toekomst zal hebben, omdat er behoefte zal zijn aan standaarden en tal van instanties zullen moeten samenwerken. De Europese visie is dat er in de toekomst een dergelijke infrastructuur zal zijn, terwijl er in andere delen van de wereld en in bepaalde bedrijfstakken onafhankelijkheid gewenst is, waarbij voertuigen met elkaar communiceren zonder dat specifieke communicatie met de infrastructuur nodig is.”
- “Voetgangers zijn zeer kwetsbaar en voetgangersgebieden met een hoge dichtheid zijn geen goede plek voor AV's om te werken, omdat een conservatief algoritme de beweging van het voertuig drastisch zou vertragen. Aangezien de intelligentie niet noodzakelijkerwijs op de AV zelf hoeft te zitten, kunnen dergelijke voetgangersomgevingen vooral profiteren van slimme infrastructuur. Dit brengt echter zowel politieke als technische uitdagingen met zich mee, waaronder het intelligent laten werken van wegen voor niet-AV's en de beperking van sensorcapaciteiten op verschillende geografische locaties. Een ander probleem is het financieringsmodel. Infrastructuur, aangezien het een publiek goed is, zou vermoedelijk een publiek-private transformatie nodig hebben voor verbetering.”
- “De communicatie van AV's met voetgangers moet plaatsvinden via impliciet gedrag van het voertuig, terwijl eHMI's in dubbelzinnige situaties moeten worden gebruikt.”
- “Een andere optie is om de infrastructuur te gebruiken om te communiceren met de voetganger, zodat de auto niet als communicatiemiddel hoeft te worden gebruikt. Slimme infrastructuur zal een cruciale rol spelen in de toekomstige elektromobiliteit. Stille auto's mogen niet worden uitgerust met extra geluid, omdat dit het idee van stille auto's zou tegenwerken. Een betere oplossing is om infrastructuur te gebruiken om mensen te waarschuwen via *devices* zoals smartphones. Ook de infrastructuur zal een sleutelrol spelen bij de verkeersscheiding. Het scheiden van verschillende modaliteiten zoals AV's van handmatig bestuurde auto's, fietsers en voetgangers is echter zeer kostelijk.”

- “eHMI’s: net als slimme infrastructuur kunnen eHMI’s bijdragen aan veiligheid en AV-acceptatie. Uit ons onderzoek blijkt dat eHMI’s vooral nuttig zijn bij lage snelheden, waarbij voetgangers de tijd hebben om eHMI-signalen te interpreteren en erop te reageren. Op grotere afstanden is de herkenning van eHMI’s problematisch. Onze experimenten lieten verrassend kleine verschillen zien tussen fundamenteel verschillende soorten eHMI’s in termen van acceptatie en effect op gedrag, en deelnemers leerden eHMI’s snel te gebruiken. Mogelijk hebben onze deelnemers gewoon gereageerd op de veranderende kleur, tekst of het symbool van de eHMI. Deze eHMI-verandering ging altijd gepaard met impliciete communicatie, wat een belangrijke factor blijft.”
- “Ik ben niet optimistisch over slimme wegeninfrastructuur, aangezien dit een uitdaging vormt op het gebied van kosten en achterwaartse compatibiliteit. Een virtueel verkeerslicht kan goed werken voor [daarvoor] uitgeruste voertuigen, maar zal onzichtbaar zijn voor voertuigen [die niet voorzien zijn van zulke intelligentie]. Het zou dus moeilijk zijn om mensen hierin te laten investeren. Ik denk dat het meest uitdagende deel zou zijn hoe te communiceren met voetgangers. Als het virtueel is, dan verplicht dat apparatuur op de voetganger om signalen naar de infrastructuur te sturen en de ontvangen signalen weer te geven. Dit kan mogelijk zijn in een land met een hoge levensstandaard waar iedereen kan worden uitgerust met een slimme bril. Maar in andere landen heb je economische verschillen, waardoor grote delen van de bevolking geen toegang hebben tot allerlei slimme toestellen. Niet-slimme infrastructuur kan een productievere manier zijn om vooruit te komen. *Best practices* van infrastructuurontwerp die momenteel bestuurders en voetgangers helpen die over de wegen rijden, kunnen voetgangers en AV’s ook helpen om veilig met elkaar om te gaan.”

Ressorterende leden kunnen de OCW-publicaties kosteloos bestellen. Deze publicatie is enkel elektronisch beschikbaar.

Meer informatie:

<https://brrc.be/nl/expertise/publicaties>

Deze publicatie bestellen:

publication@brrc.be




Kenmerk: SN 52 – Prijs: € 14 (excl. 6 % btw)

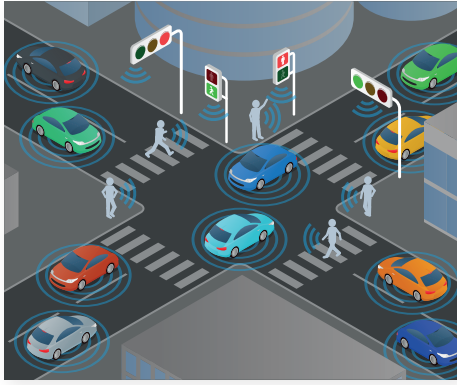
■ Andere publicaties in de reeks “Synthese”

Synthesen schetsen de stand van zaken voor specifieke problemen en stellen onderwerpen voor die voor onderzoek in aanmerking kunnen komen.

Kenmerk	Titel	Prijs
SN 51	Connected & autonomous vehicles en weginfrastructuur	14,00 €
SN 50	Recycling van plastics in asfalt – Een analyse	12,00 €
SN 49	Synthese van de kennis en praktijken in verband met nachtelijke wegwerkzaamheden	12,00 €
SN 48/14	Instrumenten voor wegbeheerders	Gratis
SN 47/10	Handboek voor de praktische uitvoering van voetgangersoversteekplaatsen	Gratis
SN 46/09	De weg: actor van duurzame mobiliteit	14,00 €
SN 45/09	Veiligheidsbeheer van weginfrastructuur: van curatief naar preventief beheer	14,00 €
SN 44/07	Langere en zwaardere voertuigen – Eindrapport	15,00 €

■ Andere OCW-reeksen

-  Researchverslag
-  Meetmethode
-  Aanbevelingen



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Woluwedal 42
1200 Brussel
Tel. : 02 775 82 20
www.brrc.be/nl

Het verbeteren van de verkeersveiligheid is een prominente motivatie voor beleidsmakers en bedrijven om zich te richten op autonome mobiliteit. De geleidelijke introductie van autonome mobiliteit als haalbaar alternatief voor meer traditionele vormen van reizen is een uitdaging die kansen biedt voor een veiliger verkeerssysteem.

In dit rapport beschrijven we die verkeersveiligheidsbelofte, en plaatsen we er enkele kanttekeningen bij door in te gaan op nieuwe verkeersveiligheidsrisico's. Het biedt een overzicht van relevante achtergrondinformatie, elementen van onderzoek en testen, verkeersveiligheidsbeleid en -doelstellingen. Het geeft meer inzicht in de component infrastructuur. Deze kennis draagt bij aan weloverwogen keuzes van wegbeheerders, welke keuzes op de korte en middellange termijn nodig zijn.

ITRD-trefwoorden

0173 - Beleid - 0698 - Verplaatsing - 1055 - Verkeersinfrastructuur - 1145 - Wijze van vervoer - 1244 - Autonoom voertuig
- 1665 - Veiligheid - 8735 - Intelligent transportsysteem - 8743 - Elektronisch rijhulpmiddel - 8771 - Routegeleiding - 9105
- Mobiliteit (mens)