



Opzoekingscentrum
voor de **Wegenbouw**

Samen voor duurzame wegen

Connected & Autonomous Vehicles en weginfrastructuur

Stand van zaken en toekomstverkenning



Synthese

SN 51

Sinds 1952 staat OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) als onpartijdig onderzoekscen-
trum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. Duurzame innovatie is de leidraad
voor alle activiteiten in het Centrum. OCW deelt zijn kennis met professionals uit de wegenbranche
onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchverslagen, meet-
methoden, informatiebladen, OCW Mededelingen en Dossiers, activiteitenverslag). 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.ocw.be.

Synthese SN 51

Connected & Autonomous Vehicles en weginfrastructuur

Stand van zaken en toekomstverkenning

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Brussel

2020

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 regelmatige deelnemers aan de boeiende discussies:

Wanda Debauche (OCW), Johan De Mol (UGent), Ertan Dzambaz (OCW), Jean-François Gaillet (VIAS), Simon Gianordoli (ERF, Routes de France), Vincent Helmus (SPW), Liessa Iliens (MOW), Gauthier Michaux (SPW), Sven Neckebroeck (Brussel Mobiliteit), Christophe Nicodème (ERF), Rik Nuyttens (3M), Kris Redant (OCW), Kristof Rombaut (AWV), Koen Schietecatte (De Lijn), Steven Soens (Febiac), Philippe Vandewauwer (MIVB), Hinko van Geelen (OCW), Lieselot Vanhaverbeke (VUB), An Volckaert (OCW), Dagmara Wrzesinska (VIAS).

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.

Connected & Autonomous Vehicles en weginfrastructuur / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. – Brussel: OCW, 2020. 104 blz. – (Synthese; SN 51).

Wettelijk depot: D/2020/0690/12

Verantwoordelijke uitgever: A. De Swaef, Woluwedal 42 – 1200 Brussel

Cover: Blue Planet Studio, s.d.

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Context van CAV	3
2.1	Omschrijving CAV	3
2.1.1	Geconnecteerd, autonoom	3
2.1.2	Geautomatiseerd	4
2.1.3	<i>Advanced Drivers Assistance Systems (ADAS)</i>	5
2.1.4	Bestuurder	6
2.1.5	Toepassingen CAV	7
2.2	Doelstellingen	8
2.2.1	Economische welvaart	9
2.2.2	Verkeersveiligheid	10
2.2.3	Congestie	12
2.2.4	Mobiliteit	14
2.2.5	Inname van ruimte	14
2.2.6	Energie-efficiëntie & milieuvriendelijkheid	15
2.2.7	Wegcapaciteit	17
2.3	SAE-levels	19
2.3.1	Classificatiesysteem	19
2.3.2	SAE-levels en weginfrastructuur	20
2.4	Uitrol CAV & hinderpalen	21
2.4.1	Weginfrastructuur	21
2.4.2	Diverse hindernissen	21
2.4.3	Toekomstverkenning	23
2.4.4	<i>Cybersecurity</i>	24
2.5	Autonome voertuigen voor beperkte toepassingen	25
2.6	Mix van voertuigen met verschillende SAE-levels	25
2.7	Regelgeving	26
	Europese ITS-richtlijn	26
	Communicatieprotocollen	27
	Strategie voor C-ITS diensten	27
	Belgische regelgeving	28
3	CAV en infrastructuur	29
3.1	Fysieke infrastructuur en digitale infrastructuur	30
3.2	Autosnelwegen	30
3.2.1	Ontwerprichtlijnen	31
	Wegverloop (horizontaal + verticaal)	31
	Breedte en bezetting van rijstroken	33
	Invoeg- en uitvoegstroken / weefstroken	34
	Pechstrook / pechhavens / interventiestrook	35
	Dwarsprofiel	35
	Vrachtwagenkonvoeien	36
3.2.2	Invloed AV op wegopbouw	37
	Bezetting / wegstructuur	37
	Kwaliteit van het wegdek	37
	Sensoren in de wegstructuur	38

3.2.3	Weguitrusting	38
	Zichtbaarheid en harmonisering wegmarkeringen en verkeersborden	38
	Afscherpende constructies	39
	<i>Variable Message Signs (VMS)</i>	40
3.3	Wegen in stedelijke omgeving	40
3.3.1	Uitdaging in stedelijke context	40
3.3.2	Rollen en belangen	41
3.3.3	Opkomende micromobiliteit	42
3.3.4	De deelsystemen	43
3.3.5	Vergroening van transport	45
3.3.6	Aanpassing van snelheidslimieten	47
3.3.7	Digitale infrastructuur en diensten	48
3.3.8	Trage mobiliteit en toegankelijkheid	50
3.3.9	Diversificatie van openbaar vervoerdiensten	51
3.3.10	Levering van goederen	51
3.4	Shuttles	52
3.4.1	Scope	52
3.4.2	Testen	53
3.4.3	Ontwikkelingen	55
3.4.4	Infrastructuur	55
4	Besluit	57
4.1	Inleiding	57
4.2	(On)zekerheid en complexiteit	58
4.2.1	Toekomstverkenning en risicobeheersing	59
4.2.2	Onderzoek ten behoeve van testen	59
4.3	Maatschappelijke evoluties / beleid	61
4.3.1	Beleidsonderzoek en evaluaties van projecten	62
4.3.2	Samenleving	62
4.4	Weginfrastructuur	63
4.4.1	Signalisatie	64
4.4.2	Wegverloop en wegingdeling	65
4.4.3	Wegstructuur	66
4.4.4	Wegoppervlak	66
5	Achtergrondinfo	69
5.1	Relevante regelgeving	69
5.1.1	Europa	69
5.1.2	België	69
5.2	Definities / Afkortingen	72
5.3	Testen: testsites & <i>Living Labs</i> (EU)	75
5.3.1	België	75
5.3.2	Wereldwijd (overzicht)	75
5.3.3	Europa	76
5.3.4	Projecten	77
6	Literatuur	79
7	Leden van de werkgroep	97

Lijst van de figuren

2.1	<i>Levels of automated driving</i> (European Automobile Manufacturers Association [ACEA], 2019, p. 2)	5
2.2	<i>New safety features in your car</i> (European Commission [EC], s.d.)	6
2.3	Voordelen van zelfrijdende voertuigen in de EU, volgens EPRS / Europese Commissie ("Zelfrijdende auto's in de EU", 2019)	9
2.4	Kostenvergelijking van verschillende modi met en zonder autonome voertuigtechnologie (Bösch et al., 2018)	13
2.5	Evolutie van de massa van nieuw verkochte wagens (Frederik, 2020)	16
2.6	Relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid ("Fundamentele relatie", 2020)	17
2.7	Gereserveerde rijstroken voor zelfrijdende voertuigen (Albricht, 2017)	18
2.8	SAE-classificatiesysteem ("SAE International releases updated visual chart", 2018)	19
2.9	Illustratie SAE Level 3 (Metamorworks, s.d.)	19
2.10	Mate van automatisering, EPRS / Europese Commissie ("Zelfrijdende auto's in de EU", 2019)	23
2.11	<i>Amara's law. tech bubble?</i> (Kerner, 2016)	24
2.12	De risico's van directe toegang tot voertuigdata ("What are the risks", s.d.)	24
3.1	Uiteenlopende verplaatsingen (Gabriel12, s.d.)	41
3.2	Relatie tussen snelheid, versnelling en brandstofverbruik (Nasir, Noor, Kalam & Masum, 2014)	47
3.3	Relatie tussen snelheid en voertuiggeluid (rolgeluid en motorgeluid) (Amundsen & Klæboe, 2005)	47
3.4	<i>Self-driving shuttle test</i> (VIAS Institute, 2018)	54
4.1	Totstandkoming van de publicatie 'CAV & weginfrastructuur – stand van zaken en toekomstverkenning'	58
4.2	Test met autonome shuttle in voetgangersgebied van Masdar City, Abu Dhabi, oktober 10, 2019	60
4.3	Drietelig waarschuwbord in gebruik bij de test van zelfrijdende shuttle in Neder-over-Heembeek, februari 12, 2020	60
4.4	Voorbeeld van ISAD-levels, toegewezen aan een wegennetwerk (Inframix, 2017)	61
4.5	Oppervlakgebreken kunnen hinderlijk zijn voor het functioneren van zelfrijdende voertuigen	67
5.1	Uitsnede van de Progress map van autonome ov-initiatieven (UITP, s.d.)	76
5.2	Test zelfrijdende shuttle op <i>Brussels Health Campus</i> (Vrije Universiteit Brussel [VUB], 2019)	77

Lijst van de tabellen

2.1	Enkele veel voorkomende ADAS-systemen	5
2.2	Conventie van Genève (Geneva Convention on Road Traffic, 1949), definitie van een bestuurder	7
2.3	Ontwikkelingsscenario's AV in drie toepassingsgebieden, in Zwitserland	26
2.4	<i>Day 1 services</i> voor C-ITS diensten, Europese Commissie	28
2.5	<i>Day 1,5 services</i> voor C-ITS diensten, Europese Commissie	28
3.1	<i>KPI for fleet size and vehicle kilometres in MaaS system</i> , Oslo study, PTV Group, April 2019 (COWI & PTV Group, 2019)	44
4.1	Enkele factoren die het <i>Operational Design Domain</i> mee bepalen	61
5.1	Relevante regelgeving (Europa)	70
5.2	Relevante regelgeving (nationaal)	71
5.3	Afkortingen	74

Hoofdstuk 1

Inleiding

De **technologische ontwikkelingen** rond de zelfrijdende, zelfsturende of autonome voertuigen (CAV, *connected & autonomous vehicles*) gaan razendsnel. Zijn alle betrokkenen klaar voor een succesvolle en veilige introductie? Hoe kunnen voertuigen met een **verschillende graad van autonomie** samen veilig gebruik maken van de **beschikbare weginfrastructuur**?¹

De **infrastructuurcomponent** speelt een rol in de ontwikkelingen van CAV. Op heel wat vlakken is evenwel **onduidelijk** tot hoe ver de rol van de **weginfrastructuur** strekt. Onderliggende vragen hierbij:

- Wat zijn de gevolgen van CAV op de bestaande weginfrastructuur?
- Welke opportuniteiten biedt CAV voor de weginfrastructuur?
- Tegen welke termijn moet de weginfrastructuur zich ontwikkelen?
- Welk onderscheid, gerelateerd aan de weginfrastructuur, is er te maken tussen de geconnecteerde voertuigen en autonome voertuigen?
- Welke aanpassingen zijn nodig voor een veilige mix van CAV en andere voertuigen (niet-CAV)?
- Wat is duidelijk en wat is nog onzeker?
- Zijn er bij ontwerp en aanleg van weginfrastructuur vandaag aanbevelingen of aandachtspunten die het uitrollen van geautomatiseerde voertuigen in de toekomst vereenvoudigen?

Met de bestudering van deze deelvragen in een door OCW aangestuurde **werkgroep** met externe leden, wenst OCW de ontwikkelingen rond CAV en de rol van de infrastructuurcomponent te onderzoeken².

Het **onderhavige rapport** geeft inzicht in de mogelijke gevolgen voor de weginfrastructuur en de wegbeherende overheden. Het rapport is de vrucht van literatuuronderzoek door OCW en boeiende discussies rond relevante thema's met de actieve werkgroepleden: thema 'autosnelwegen', thema '*urban mobility*' en thema 'shuttles'.

Het rapport begint inhoudelijk met **hoofdstuk 2** over een aantal contextuele onderwerpen:

- 2.1 Omschrijving van CAV
- 2.2 Doelstellingen
- 2.3 SAE-levels
- 2.4 Uitrol van CAV en hinderpalen

Vervolgens gaat **hoofdstuk 3** concreet in op de relatie tussen CAV en infrastructuur. De thema's waarover voldoende informatie is teruggevonden werden in de werkgroep uitgewerkt. Het gaat om volgende thema's:³

- 3.1 Fysieke infrastructuur en digitale infrastructuur
- 3.2 Autosnelwegen
- 3.3 Wegen in stedelijke omgeving (*Urban Mobility*)
- 3.4 Shuttles

1

SAE-levels:
 SAE L0 = No automation,
 SAE L1 = Driver assistance,
 SAE L2 = Partial automation,
 SAE L3 = Conditional automation,
 SAE L4 = High automation,
 SAE L5 = Full automation.
 Zie § 2.3 SAE-levels.

2

De studie is gefinancierd uit eigen middelen van OCW. Het Comité voor het Programma van OCW ondersteunt dit initiatief. Zie <https://brcc.be/nl/overocw>.

3

Ten tijde van het opstellen van dit rapport was er onvoldoende informatie over wegen buiten de bebouwde kom (met uitzondering van autosnelwegen).

We geven een overzicht van de hoofdzaken van ons studiewerk in **hoofdstuk 4**. In dit hoofdstuk staan ook de conclusies over de mogelijke gevolgen voor de weginfrastructuur en de wegbeherende overheden. Het gaat over conclusies waarvan het aannemelijk is dat ze enkele jaren zullen gelden na publicatie van het onderhavige rapport. We gaan in op zowel het **grotere plaatje**, als op de '**no regret**'-maatregelen op het vlak van weginfrastructuur. De structuur van het hoofdstuk:

- 4.1 Inleiding
- 4.2 (On)zekerheid en complexiteit
- 4.3 Maatschappelijke evoluties en beleid
- 4.4 Weginfrastructuur

Hoofdstuk 5 geeft achtergrondinformatie; onder andere een overzicht van regelgeving, van Europese testsites en *Living Labs*, en definities en afkortingen.

Hoofdstuk 2

Context van CAV

2.1 Omschrijving CAV

2.1.1 Geconnecteerd, autonoom

In onze werkgroep gebruikten we kort maar krachtig de term CAV, voor *connected & autonomous vehicles*. In het Nederlands wordt dat vertaald als **geconnecteerde en autonome voertuigen**. Het is een verzamelnaam voor voertuigen die deels of volledig de bestuurder helpen bij het uitvoeren van de rijtaak op de weg⁴.

Een **geconnecteerd voertuig** kan worden omschreven als een voertuig met technologie waarmee het draadloos kan communiceren en informatie kan uitwisselen met andere voertuigen, infrastructuur, andere apparaten buiten het voertuig en externe netwerken (Society of Motor Manufacturers and Traders [SMMT], 2017). Het is mogelijk om geconnecteerde voertuigen te 'updaten' als bijvoorbeeld software dient te worden bijgewerkt of als er nieuwe regels dienen te worden geïmplementeerd (Harari, 2018). Geconnecteerde voertuigen zijn niet noodzakelijk ook autonoom⁵.

Een **autonoom voertuig** is een voertuig dat zichzelf kan besturen zonder menselijke tussenkomst. Verschillende alternatieve termen die in gebruik zijn: zelfrijdende wagen, *robot car*, *driverless car*. Technologisch gezien zijn autonome voertuigen uitgerust met allerlei sensoren die toelaten om de positie van het voertuig op de weg te kennen en om de onmiddellijke omgeving van de weg te herkennen.

De **graad van autonomie** wordt standaard aangeduid door het SAE-level⁶, een classificatiesysteem uitgewerkt door de organisatie SAE International (een orgaan voor standaardisering in de automobiellindustrie).

De grote vooruitgang voor wat betreft veiligheid, mobiliteit, emissies, enz. wordt verwacht als autonome voertuigen ook worden geconnecteerd met andere voertuigen en weginfrastructuur⁷. *Driver assist*-systemen (ADAS) kunnen in autonome voertuigen helpen om menselijke fouten te voorkomen en in sommige gevallen de ernstgraad te reduceren. Infrastructuurbeheerders kunnen mede die vooruitgang ondersteunen door geconnecteerde infrastructuur te voorzien en toe te laten dat voertuigen, infrastructuur en andere systemen informatie uitwisselen.

Voor automobiellconstructeurs zijn geconnecteerde en autonome voertuigen geen doel op zich. Zij willen in de eerste plaats veiligere en milieuvriendelijkere voertuigen ontwikkelen. Behalve de klassieke automobiellconstructeurs, wordt er ook door tal van technologiebedrijven hevig ingezet op de ontwikkeling van de technologie voor zelfrijdende voertuigen.

De ontwikkelingen rond geconnecteerde en autonome voertuigen zijn voorlopig **twee parallelle ontwikkelingen**. De informatie die voertuigen vandaag ontvangen (meestal via sensoren) dient vooral om de menselijke bestuurder te informeren en aan te zetten tot een bepaald gedrag maar wordt voorsnog niet of slechts beperkt gebruikt om ook actief in te grijpen op het gedrag van het voertuig. In het geval van autonome voertuigen kan er wel worden ingegrepen op het gedrag van het voertuig op basis

⁴ De notie 'op de weg' is belangrijk voor de focus van de werkgroep. Autonome voertuigen die verticaal kunnen opstijgen en landen of autonome voertuigen worden niet meegenomen in de reflectie.

⁵ § 3.3.7 Digitale infrastructuur en diensten.

⁶ § 2.3 SAE-levels.

⁷ VN/ECE Reglement nr. 79 (2008) (inleiding) laat voorsnog echter niet toe dat de besturing van een voertuig wordt gebaseerd op signalen die afkomstig zijn van buiten het voertuig. Volgens de conventie van Genève (art. 4) (Geneva Convention on Road Traffic, 1949) geldt dat een bestuurder een persoon dient te zijn.

van de situaties die het voertuig zelf detecteert of – in het geval van geconnecteerde voertuigen – informatie die het voertuig van externe bronnen ontvangt.

Voor de **Europese wegbeheerders** (CEDR) verschuift de focus richting geconnecteerde voertuigen. De informatie die deze voertuigen registreren en – via hun connectiviteit – kunnen doorsturen, kan voor wegbeheerders interessante informatie opleveren over de staat van de infrastructuur en toelaten interventies en onderhoud beter te plannen of verkeersbeheer te organiseren aan de hand van realtime informatie. Autonome voertuigen bieden, behalve **opportunities** (verkeersveiligheid, mobiliteit) ook risico's (complexiteit, wettelijke aspecten)⁸.

8 | § 2.2 Doelstellingen.

Anvullend kunnen we over CAV het volgende stellen:

- een CAV kan eender welke vorm van motorisatie hebben (thermische motoren, elektrische motoren, waterstof, enz.);
- een CAV kan zowel een particulier voertuig, deelvoertuig of een vorm van openbaar vervoer zijn;
- een CAV kan een voertuig zijn voor personenvervoer of goederenvervoer. Het gaat om voertuigen van verschillende grootte.

Buiten de directe scope van ons rapport over CAV vallen 'geconnecteerde' voetgangers, fietsers en micromobiliteit (steps en dergelijke). Deze modi kunnen in een later stadium ook geconnecteerd worden en detecteerbaar worden voor infrastructuur en andere weggebruikers.

2.1.2 Geautomatiseerd

In de **gedragscode** van de FOD Mobiliteit en Vervoer, getiteld 'autonome voertuigen, gedragscode voor testen in België' worden een **geautomatiseerd voertuig** en een **volledig geautomatiseerd voertuig** gedefinieerd⁹ (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer [FOD Mobiliteit en Vervoer], 2016b). Deze definities verwijzen naar de UN-ECE regelgeving (Reglement nr. 79 VN/ECE, 2008).

9 | § 5.3 Testen: testsites & Living Labs (EU).

De gedragscode biedt **richtsnoeren** voor de organisaties die testen willen uitvoeren met technologieën voor rijhulpsystemen en geautomatiseerde voertuigen op de openbare weg of op andere openbare plaatsen in België.

Een **geautomatiseerd voertuig** is een voertuig waarin een bestuurder moet zitten, klaar om te allen tijde de besturing terug in handen te nemen. In bepaalde situaties kan het voertuig echter een 'automatische stand' bieden, zodat de bestuurder zich niet bezig hoeft te houden met de besturing en mogelijk andere taken kan uitvoeren.

Met een **volledig geautomatiseerd voertuig** wordt een voertuig bedoeld waarin niet langer een bestuurder is vereist. Het voertuig is zodanig ontwikkeld dat het op veilige wijze een reis kan ondernemen zonder tussenkomst van een bestuurder, onder alle verkeers-, weg- en weersomstandigheden waarin een vaardige menselijke bestuurder een voertuig kan besturen¹⁰.

10 | Door de UNECE WP Automated / Autonomous and Connected Vehicles (GRVA) wordt gewerkt aan functionele vereisten en evaluatiemethodes voor deze nieuwe technologieën in voertuigen.

ACEA (*European Automobile Manufacturers Association*) maakt dan weer onderscheid tussen *assisted driving*, *automated driving* en *autonomous driving*. Volgende figuur geeft de verschillen weer:



Figuur 2.1 – Levels of automated driving (European Automobile Manufacturers Association [ACEA], 2019, p. 2)

Er zijn voor hetzelfde idee dus verschillende termen in gebruik. Er bestaat evenwel **een gemene deler**, die het niveau van geautomatiseerd rijden voor voertuigen op wegen duidt: de **SAE-levels** van SAE International¹¹.

11

§ 2.3 SAE-levels.

2.1.3 Advanced Drivers Assistance Systems (ADAS)

Onderzoek en ontwikkeling van de voertuigindustrie naar veiligere wagens richt zich op het ondersteunen van de chauffeur tijdens het besturen van zijn voertuig. De ondersteunende systemen kunnen nadien worden opgepikt door de regelgever. Veiligheidssystemen die efficiënt blijken, krijgen geharmoniseerde functionele minimumvereisten opgelegd en worden na verloop van tijd ook verplicht gesteld in het kader van de regelgeving voor voertuighomologatie.

De lijst van systemen is lang, en er worden verschillende benamingen gebruikt voor hetzelfde type systemen. Enkele van de meest gekende systemen:

ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>	Systeem dat voorkomt dat wielen blokkeren bij krachtig remmen
AEBS	<i>Advanced Emergency Braking System</i>	Systeem dat een potentiële voorwaartse botsing kan detecteren en het remsysteem van het voertuig kan activeren om het voertuig te vertragen, met als doel een aanrijding te voorkomen of te beperken
ACC ¹²	<i>Adaptive Cruise Control</i>	Systeem dat de snelheid en volgafstand regelt ten opzichte van voorgaand voertuig
DAS	<i>Driver Alert Systems</i>	Systeem dat tekenen van een slaperige of verminderd aandachtige bestuurder detecteert
ISA	<i>Intelligent Speed Adaptation</i>	Systeem dat ervoor zorgt dat de voertuigsnelheid niet hoger is dan een veilige of wettelijk toegelaten snelheid
LDWS ¹³	<i>Lane Departure Warning System</i>	Systeem dat de bestuurder waarschuwt wanneer het voertuig zijn rijstrook begint te verlaten
	<i>Park Assist</i>	Parkeerhulpsysteem voor inparkeren / zoeken naar vrije parkeerplaatsen

12

Het begrip *Advanced Cruise Control* wordt ook gebruikt.

13

Eveneens in gebruik: *Lane Keeping Assistance (LKA)*; *Lane Departure Warning (LDW)*.

Tabel 2.1 – Enkele veel voorkomende ADAS-systemen

Al deze systemen zijn bedoeld om de menselijke bestuurder te ondersteunen in zijn of haar rijtaak of potentieel onveilige situaties te detecteren en te ondervangen. Hoewel sommige van deze systemen in bepaalde omstandigheden de rijtaak kunnen overnemen van de bestuurder, ligt de verantwoordelijkheid voor het rijden vandaag nog steeds volledig bij de (menselijke) bestuurder.

14 Verordening (EU) 2019/2144 (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.

In de loop van 2022 treedt de Europese Verordening 2019/2144¹⁴ in werking. Volgens deze regelgeving dienen nieuwe voertuigen vanaf deze datum verplicht te zijn uitgerust met een aantal geavanceerde voertuigsystemen (o.a. ISA, gegevensrecorder voor incidenten, vermoeidheidswaarschuwing, enz.).



Figuur 2.2 – New safety features in your car (European Commission [EC], s.d.)

2.1.4 Bestuurder

Bij ADAS spreken we van het ondersteunen van de menselijke bestuurder. Als we spreken van autonome voertuigen, is er dan nog sprake van een bestuurder?

De Conventie van Genève (Geneva Convention on Road Traffic, 1949) geeft een definitie van **bestuurder**, en geeft in enkele artikels een aantal belangrijke taken aan voor de bestuurders.

De verkeersvoorschriften van internationale oorsprong zijn oorspronkelijk toegesneden op auto's met bestuurders. Autonome auto's hebben geen bestuurder maar wel inzittenden of gebruikers. Dit betekent dan ook dat **internationale verdragen aangepast** dienen te worden (Vellinga & Vellinga, 2019).

artikel 4	Bestuurder betekent ieder, die een voertuig, waaronder mede te verstaan een rijwiel, bestuurt, een trekdier, een lastdier, een rijdier of een kudde dieren langs een weg geleidt, dan wel feitelijk de macht daarover heeft.
artikel 7	Een bestuurder, voetganger of andere weggebruiker moet zich zodanig gedragen, dat hij het verkeer niet in gevaar brengt, noch belemmert; hij dient iedere handeling te vermijden, welke aan personen dan wel aan openbare of persoonlijke eigendommen letsel of schade zou kunnen berokkenen.
artikel 8.1	Ieder voertuig en ieder samenstel van voertuigen, hetwelk zich als een geheel voortbeweegt, moet een bestuurder hebben.
artikel 8.5	Bestuurders moeten te allen tijde hun voertuigen kunnen besturen of hun dieren kunnen begeleiden. Bij het naderen van andere weggebruikers dienen zij de voorzorgen te nemen die nodig kunnen zijn voor de veiligheid van laatstgenoemden.
artikel 10	De bestuurder van een voertuig moet de snelheid daarvan te allen tijde in zijn macht hebben en met overleg en voorzichtig rijden. Hij moet vaart minderen of stilhouden, zo dikwijls de omstandigheden zulks vereisen of in het bijzonder, wanneer het zicht niet goed is.

Tabel 2.2 – *Conventie van Genève (Geneva Convention on Road Traffic, 1949), definitie van een bestuurder*

2.1.5 Toepassingen CAV

Systemen van een CAV zijn gericht op legio toepassingen. Het einde van de mogelijkheden op het vlak van infotainment, veiligheid, diagnostiek, navigatie en betaaldiensten lijkt nog niet in zicht. Informatie en diensten zijn volop in ontwikkeling.

Met de **Richtlijn 2010/40/EU** (2010) ook wel de Europese ITS-kaderrichtlijn genoemd, formuleert Europa een aantal prioritaire gebieden en onderliggende acties waaraan *Intelligent Transport Systems* een bijdrage dienen te leveren (o.a. Europese multimodale reisinformatiediensten, realtimeverkeersinformatie, verkeersinformatie die relevant is voor de verkeersveiligheid, enz.). Bij het verder ontwikkelen van specificaties, toepassingen en diensten is een van de principes dat er rekening dient te worden gehouden met de kenmerken van bestaande nationale infrastructuur.

Binnen de **OCW-werkgroep CAV** is het echter niet de bedoeling om uitgebreid aandacht te schenken aan alle systemen en diensten die aan een geconnecteerd voertuig kunnen worden aangesloten. Het gaat veeleer om de interactie tussen geautomatiseerde voertuigen en de **fysieke weginfrastructuur** en de eventueel zinvolle aanpassingen aan deze infrastructuur.

Naar alle waarschijnlijkheid zullen CAV een groot deel van de informatie over fysieke infrastructuur ontvangen via digitale systemen. Het is belangrijk dat deze digitale systemen (**digital infrastructure**) een correcte weergave geven van de fysieke realiteit (wegverloop, geldende verkeersregels, andere informatie). In de Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/962 (2015) wordt beschreven welke informatie (op het vlak van infrastructuur en verkeersinformatie) digitaal beschikbaar dient te worden gemaakt en welk de vereisten zijn voor het updaten van deze informatie. Bij ontwerp, aanleg en onderhoud van wegen en weguitrusting zal dit een belangrijk aandachtspunt worden (actualisering van zogenaamde statische weggegevens).

In dit rapport wordt aandacht besteed aan particuliere en publieke voertuigen. Het kan dan gaan om voertuigen in individueel of gedeeld eigendom, en om voertuigen die een taxi- of busdienst aanbieden (zoals de geteste shuttles in binnen- en buitenland). Naast personenvervoer besteden we ook aandacht aan goederenvervoer.

2.2 Doelstellingen

Voor de automobielfabrikanten zijn zelfrijdende voertuigen geen doel op zich. Het onderzoek en de ontwikkelingen rond zelfrijdende voertuigen worden vooral aangedreven door een streven naar **zero-incident** en **zero-emission** voertuigen. Omdat uit analyse van verkeersongevallen blijkt dat de bestuurder een belangrijke factor is, 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)¹⁵.

§ 2.3 SAE-levels.

De Europese Unie wenst wereldleider te worden op het gebied van implementatie van veilige systemen voor geautomatiseerd vervoer, waarbij de veiligheid en efficiëntie op de weg wordt verbeterd, verkeersopstoppingen worden bestreden, het energieverbruik en de emissies van vervoer worden teruggedrongen en fossiele brandstoffen geleidelijk worden afgeschaft (Resolutie van het Europees Parlement van 15 januari 2019, 2019).

Hiermee zijn de krijtlijnen aangeduid van doelstellingen op het gebied van CAV. Via een beknopte literatuurstudie zijn die doelstellingen te verfijnen naar **drijfveren**:

- economische welvaart;
- verkeersveiligheid;
- congestie;
- mobiliteit;
- inname van ruimte;
- energie-efficiëntie & milieuvriendelijkheid;
- wegcapaciteit.

Inzicht in de drijfveren om geconnecteerde en autonome voertuigen op de openbare weg toe te laten is nuttig om het verband tussen CAV en de weginfrastructuur te kunnen duiden. De haalbaarheid van de doelstellingen en drijfveren zijn sterk afhankelijk van uitgestippeld beleid, van overleg en samenwerking tussen de verschillende stakeholders, en van duidelijke keuzes die rekening houden met maatschappelijke wensen en behoeften.

De belofte naar een betere mobiliteit, minder ruimtebeslag en energie-efficiëntie zijn niet louter gekoppeld aan technologische ontwikkelingen, maar hangen evenzeer af van maatschappelijke keuzes (bijvoorbeeld het stimuleren van deelvoertuigen, performant openbaar vervoer, uitdoofscenario's voor voertuigen op fossiele brandstoffen en beschikbaarheid van voldoende 'propere' elektriciteit) (Morlion, 2018).



Figuur 2.3 – Voordelen van zelfrijdende voertuigen in de EU, volgens EPRS / Europese Commissie (“Zelfrijdende auto’s in de EU”, 2019)

2.2.1 Economische welvaart

De EU acht het essentieel voor het Europese bedrijfsleven dat digitale opportuniteiten op het vlak van technologische innovaties (*internet of things*, 5G, *cloud computing*, data-analyse, robotica) snel en maximaal worden benut. Dit moet garanderen dat Europa met het oog op algehele welvaart op middellange en lange termijn concurrerend blijft. De EU identificeerde CAV als een prioritair onderwerp om het **concurrentievermogen** van de Europese industrie te vergroten (Europese Commissie [EC], 2016a)¹⁶.

De lidstaten zien de potentie van autonome voertuigen, en maken een schatting van wat de economische – en sociale voordelen zijn. Bijvoorbeeld in de voormalige lidstaat het Verenigd Koninkrijk verwacht SMMT (*The Society of Motor Manufacturers and Traders Limited*) dat de ontwikkelingen op het vlak van zelfrijdende wagens tegen 2030 een groot aantal **nieuwe jobs** zullen creëren (320 000 nieuwe jobs, waarvan 25 000 in de productie van voertuigen). Tussen 2014 en 2030 verwachten zij dat CAV ook zullen bijdragen aan 2 500 **minder dodelijke verkeersslachtoffers** en 25 000 minder **ernstige ongevallen**. Deze personen worden dan niet aan de arbeidsmarkt onttrokken (SMMT, 2017).

Ook de **automobieliindustrie** ziet een enorme potentie in de zelfrijdende auto. De automotive-industrie is in absolute cijfers een industrie met hoge investeringen. De verdeling van die investeringen verschilt per continent of land, met in sommige continenten of landen een voortvarende aanpak en grote investeringen op het vlak van de ontwikkeling van autonome voertuigen. In andere landen worden er andere

¹⁶

De Europese Commissie spreekt van “concurrerend”. Dit komt erop neer dat de EU competitief blijft, een leidende positie inneemt of behoudt, en aan de top blijft voor wat betreft R&D.

klemtonen gelegd. Ter illustratie, volgens het Duitse *Verband der Automobilindustrie* investeert de Duitse auto-industrie in de periode 2019-2022 ca. 18 miljard euro in digitalisatie, connectiviteit en technologie voor zelfrijdende voertuigen terwijl er in dezelfde periode 40 miljard euro wordt geïnvesteerd in de ontwikkeling van elektrisch aangedreven voertuigen (Redactie Automobiël Management, 2019b).

Voorts zien bedrijven (buiten de taxisector) een grote toekomst voor **robottaxi's**, waarbij geen chauffeur meer nodig is. De traditionele taxisector krijgt daardoor te maken met nieuwe concurrentie. Organisaties als Uber en Lyft investeren veel geld in de ontwikkeling. Er zijn volgens Amerikaans onderzoek echter nog veel vraagtekens te zetten bij de winstgevendheid van robottaxi's ten opzichte van traditionele taxi's (Van Wijngaarden, 2019b).

Evenmin onbelangrijk, de **economische waarde van rijtijd** kan veranderen door de invoering van CAV. De reistijd als passagier van een CAV kan anders en wellicht aangenamer of economisch nuttiger gebruikt worden dan de reistijd als bestuurder. Mensen zullen mogelijk minder opzien tegen langere verplaatsingen, waardoor dit kan leiden tot grotere reisafstanden (Leeb, 2019).

2.2.2 Verkeersveiligheid

Rijveiligheidsexperts verwachten dat het aantal verkeersongevallen substantieel kan dalen, als autonome voertuigen alle taken van de bestuurder uit handen nemen. Uitgaand van statistische ongevalgegevens is het **potentieel** enorm: ca. 90 % van de ongevallen is op enigerlei wijze gelinkt aan een menselijke factor (Treat et al., 1979). Bepaalde studies waarschuwen echter voor al te positieve verwachtingen (International Transport Forum [ITF], 2018; Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019; Robinson, Wallbank & Baig, 2017).

In de overgangperiode is er sprake van een tweevoudige uitdaging om effectief winst te maken op het vlak van verkeersveiligheid:

- Ten eerste, de invoering van allerlei geavanceerde voertuigsystemen wijzigt de rol van de bestuurder en gaat gepaard met nieuwe en voorlopig onvoldoende bekende veiligheidsrisico's (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019). Begeleidende maatregelen moeten deze risico's ondervangen.
- Ten tweede, er bestaat onzekerheid over de samenstellingsmix van voertuigen (autonome van diverse SAE-levels en niet-autonome) in het automobielpark¹⁷.

De intentie van de verbeteringen door de introductie van geavanceerde voertuigsystemen en de autonome voertuigen van hogere automatiseringsniveaus is vanzelfsprekend een positieve: een netto verbetering van de veiligheid. Introducties van systemen waarvoor op dat vlak vragen of kanttekeningen bij te plaatsen zijn, kunnen worden herzien.

Elementen met een direct effect op de betere verkeersveiligheid door CAV zijn de mogelijkheid om verschillende taken simultaan uit te voeren en de snellere **reactie** van het voertuig, waardoor het voertuig sneller kan vertragen, stoppen of van traject veranderen.

Ook wordt het mogelijk om ervoor te zorgen dat er via een ondersteunend systeem actief kan worden **ingegrepen op de rijnsnelheid** en ongepaste snelheden kunnen worden voorkomen. Een belangrijke rol is daarbij weggelegd voor de wegbeheerder: de informatie over de toegelaten snelheid moet correct en up-to-date zijn (cf. digitale

17

Het is zeker dat er nog decennia sprake is van een *mix, mixed traffic* genoemd. Schattingen spreken van 30 tot 40 jaar, omwille van de lange levensduur van vrachtwagens en leger-voertuigen die merklijk langer in dienst blijven (Conference of European Directors of Roads [CEDR], s.d.).

infrastructuur, verkeersborden). In een scenario waarbij alle systemen geconnecteerd zijn, kan de maximaal toegestane snelheid dynamisch worden aangepast aan de omstandigheden (weersomstandigheden, incidenten, verkeersdichtheid, enz.). Dit kan bijdragen aan de geloofwaardigheid en acceptatie van snelheidslimieten.

Verder kunnen er ook effecten zijn die indirect bijdragen aan een verkeersveiliger systeem. Te denken valt bijvoorbeeld aan voertuigen die zelf kunnen parkeren aan de hand van informatie over beschikbaarheid van parkeerplaatsen. Dit zorgt voor minder zoekverkeer (direct effect), met een constantere rijnsnelheid (indirect effect).

Het potentieel op het vlak van verkeersveiligheid hangt ook samen met het **niveau van automatisering**. Er is bij sommige organisaties nog gerede twijfel of de veelbelovende veiligheidsvooruitzichten volledig zullen worden verwezenlijkt. Het aantal verkeersongevallen ten gevolge van onaangepast gedrag kan wellicht dalen. Er bestaat echter ook een kans dat **normaal voorzichtige** chauffeurs meer betrokken raken bij ongevallen, vooral wanneer deze in noodsituaties de besturing van het voertuig moeten overnemen (ITF, 2018).

Verbeteringen op het vlak van milieu, comfort en mobiliteit lijken een belangrijke aanjager te zijn voor AD- en ITS-ontwikkelingen, samen met de verwachte bijbehorende pure economische voordelen (Lindström et al., 2018). Zo stelt bijvoorbeeld onderzoek uit Nederland dat vier groepen van ADAS een substantiële potentie hebben om schade te verminderen: *Automatic Emergency Brake*, *Lane Change Assist/Blind Spot Monitoring*, *Lane Keep Assist* en *Park Assist*. Gezamenlijk zorgen ze, in een realistisch scenario, voor 23 % minder schade (VMS/Insight, 2019).

Een aspect dat speciale aandacht vergt, is het kunnen **begrijpen of inschatten** hoe het autonome voertuig functioneert. Als de bestuurder bepaalde zaken niet meer zelf hoeft te doen, kan dit leiden tot verminderd situatiebewustzijn (§ 2.4). Hier spreekt men van als de bestuurder niet helemaal precies weet wat het systeem kan of wanneer hij zelf nog moet ingrijpen ("I-DREAMS-project", s.d.; Martens, 2014)¹⁸.

Vooraf in de overgangssituatie waar een zelfrijdend voertuig bij problematische situaties de besturing overdraagt aan een menselijke bestuurder is er een kans dat de menselijke bestuurder even tijd nodig heeft om de verkeerssituatie correct in te schatten en zich te focussen op zijn rijtaak. Nog tot SAE Level 4 blijft de bestuurder verantwoordelijk voor de taken die voor de geavanceerde voertuigsystemen te complex zijn om correct af te handelen. Gecombineerd met **afnemende rijervaring** (*de-skilling*) is er een grote kans dat het overnemen van een rijtaak door een menselijke bestuurder onvoldoende snel of onvoldoende correct zal gebeuren (ITF, 2018).

Een belangrijke kwestie bij de introductie van CAV is de verbetering van de verkeersveiligheid van de kwetsbare, **actieve weggebruikers**.

- Voetgangers, fietsers en gemotoriseerde tweewielers blijven vooralsnog niet-geautomatiseerde verkeersdeelnemers. In het beste geval zijn ze geconnecteerd (US Department of Transportation [DOT], s.d.)¹⁹.
- Zonder specifieke aandacht zouden zij niet direct of niet in dezelfde mate als inzittenden van auto's en vrachtwagens kunnen profiteren van AD- en ITS-technologie.
- De herziene *General Safety Regulation* van het Europees Parlement en de Europese Raad geeft aan dat er rekening moet worden gehouden met VRU (*Vulnerable Road Users*) en legt minimumnormen op voor het herkennen van VRU (Verordening [EU] 2019/2144, 2019).

18

Verschillende onderzoeken lopen naar deze thematiek, bijvoorbeeld:

- IMOB Hasselt nam deel aan het Europese Horizon 2020 project I-Dreams. Dit project zet een platform op om een *Safety Tolerance Zone* te definiëren, ontwikkelen, testen en valideren om te voorkomen dat chauffeurs te dicht bij de grenzen van een onveilige operatie komen, door de risico's in real-time en na de reis te beperken.
- De Universiteit Twente vergelijkt meerdere ondersteunende systemen via een *Virtual Reality*-lab en een rijnsimulator, en kijkt naar de ontwerpkaart van *automated driving*.
- TNO gebruikt een geïnstrumenteerd voertuig, een rijnsimulator, video's en praktijkobservaties voor metingen van menselijk gedrag. Ze kijken daarbij naar de interactie tussen de automobilist en de in-voertuigtechnologie, maar ook hoe andere mensen (zoals automobilisten, fietsers en voetgangers) reageren op mensen in een (deels) automatisch rijdende auto.

19

Nochtans is dat ook aan het evolueren: de eerste testen met autonome motoren hebben plaatsgevonden. Zie www.youtube.com/watch?v=XMuMoZlVYqs (Alpha SQUAD official, 2018).

- Er wordt best voor opgepast dat de aandacht van actieve weggebruikers tijdens hun verplaatsing niet afneemt, als ze ervan uitgaan dat de CAV hun sowieso zal opmerken en zijn weggedrag daarop aanpast. De verkeersveiligheid in specifieke situaties zou kunnen verminderen, als de CAV onverwacht moet remmen of afwijken van zijn normale traject.

Het verkeersgedrag van voetgangers en fietsers ten aanzien van wagens hangt dikwijls af van **visuele communicatie** tussen de verschillende verkeersdeelnemers en het kenbaar maken van intenties.

- Er zijn experimenten waarbij zelfrijdende voertuigen met succes fietsers en voetgangers detecteren en adequaat handelen (TED, 2015).
- Doorgaans hebben algoritmen het moeilijk om het gedrag van niet-geautomatiseerde verkeersdeelnemers correct te voorspellen en de juiste actie te nemen (Van Schagen, van der Kint & Hagenzieker, 2017). Dit is overigens niet exclusief voor algoritmen, ook menselijke bestuurders kunnen moeite hebben om menselijke gedragingen in te schatten (onverwachte bewegingen).
- Er is heel wat recent onderzoek naar het zoeken van oplossingen voor (onverwacht) menselijk gedrag (European Telecommunication Standards Institute [ETSI], 2019; Kunert et al., 2018; Mannion, 2019).

Anderzijds is het voor **fietsers en voetgangers** ook belangrijk om te weten dat zij werden opgemerkt door een naderende bestuurder vooraleer bijvoorbeeld te beslissen een weg over te steken. Tussen zelfrijdende voertuigen en niet-geautomatiseerde verkeersdeelnemers valt deze communicatie weg waardoor het gedrag van deze verkeersdeelnemers misschien wijzigt. Op basis van onderzoek wordt geschat dat bij 10 % van de verkeersdoden – voornamelijk ongevallen waar fietsers of motorrijders zijn betrokken – in Europa geen motorvoertuigen betrokken zijn (als slachtoffer of als tegenpartij) die kunnen worden geautomatiseerd (Lindström et al., 2018).

2.2.3 Congestie

Een veelbesproken onderwerp is de bijdrage die CAV zou kunnen leveren aan de vermindering van de congestie. De conclusie kan zijn dat het onzeker is of de congestie afneemt. Meerdere studies laten uitschijnen dat de CAV zelfs tot meer congestie zal leiden.

De introductie van CAV (en met name de autonome voertuigen) leidt mogelijk tot **tegenstrijdige effecten**.

Eenzijds komt er bijkomende capaciteit vrij doordat de autonome voertuigen dichter op elkaar kunnen rijden (Friedrich, 2015)²⁰. Anderzijds is er wetenschappelijk bewijs voor het bestaan van een **latente vervoersvraag**²¹.

Een aandachtspunt is het idee om sommige bevolkingsgroepen die zelf geen wagen mogen besturen (zoals jongeren zonder rijbewijs of ouderen die niet meer kunnen rijden) toegang te geven tot CAV. Voorts ligt er ook potentieel voor gebruik van autonome voertuigen in gebieden die minder goed bereikbaar zijn met openbaar vervoer (bv. rurale gebieden).

Onderzoek toont ook het belang van de discussie over privébezit van een zelfrijdende auto en **deelsystemen**. Het voeren van gepast beleid is cruciaal voor het binnen de perken houden van de gevolgen van de uitrol van CAV. Door sterk in te zetten op deelsystemen van autonome voertuigen kan het aantal voertuigen sterk dalen. Simulaties laten zien dat het mogelijk zou zijn om aan alle mobiliteitseisen te voldoen

20

In een scenario op een autosnelweg aan 80 km/u waarbij de tijd tussen twee voertuigen telkens 1,15 sec is (in het geval van menselijke bestuurders) kan de bezetting – indien enkel zelfrijdende personenwagens met telkens 0,5 sec tijd tussen twee voertuigen – stijgen van 2 200 naar 3 900 voertuigen/uur (Friedrich, 2015).

21

Latente vervoersvraag is het verschijnsel waarbij het totale verkeer toeneemt wanneer de wegcapaciteit toeneemt. Het nieuwe verkeer ontstaat doordat mensen vóór de capaciteitsuitbreiding thuisbleven of kozen voor een andere route of vervoerswijze of een ander tijdstip. De mate waarin nieuw verkeer ontstaat als reactie op capaciteitsuitbreiding kan worden uitgedrukt in elasticiteiten. Diverse wetenschappelijke studies leveren het bewijs voor het bestaan van deze zogeheten latente vraag bij weginfrastuur. Schattingen van de elasticiteit lopen uiteen van circa 0,2 op de korte tot 0,8 op de lange termijn (Dunkerley, Whittaker, Laird & Daly, 2018; Verrips, Hoën et al., 2016).

binnen een stad met slechts een zesde of een zevende van het huidige wagenpark (International Transport Forum [ITF]), 2015; Leeb, 2019)²².

De **vraag blijft** hoe het gebruik van autonome taxi's, autonome private voertuigen, 'traditioneel' openbaar vervoer en actieve weggebruikers zich zal ontwikkelen, en wat dat betekent voor de **inrichting van de openbare ruimte** (bv. de inname in algemene zin, of specifiek voor bijvoorbeeld voorbehouden stroken voor bussen).

Zwitsers onderzoek bestudeerde de **kostencomponent** (naast reistijd, betrouwbaarheid en comfort een belangrijk aspect bij het voorzien in een vervoersdienst)²³. Dit onderzoek maakte onderscheid naar *urban* en *regional* enerzijds, en *autonomous* en *non autonomous* anderzijds, en geeft een inkijk in de toekomstige verhoudingen (Bösch, Becker, F., Becker, H. & Axhausen, 2018).

De volgende figuur uit de studie laat zien hoe de kostencomponent kan worden geïnterpreteerd²⁴:

- **Zonder automatisering** heeft de privéauto de laagste exploitatiekosten per passagierskilometer (behalve regionale treindiensten)
 - vanwege de betaalde chauffeur zijn taxidiensten aanzienlijk duurder;
 - stadsbussen en regionale spoorlijnen werken tegen vergelijkbare kosten per personenkilometer als personenauto's.
- Het beeld **verandert substantieel met de automatisering** van voertuigen
 - de kosten van personenauto's en treindiensten veranderen marginaal;
 - dankzij de technologie voor autonoom rijden kunnen taxidiensten en bussen tegen aanzienlijk lagere kosten worden gebruikt, zelfs goedkoper dan personenauto's;
 - in een **stedelijke omgeving** worden taxi's goedkoper dan conventionele bussen, maar ze blijven duurder dan geautomatiseerde bussen;
 - in **regionale omgevingen**, gedefinieerd als ritten in voorsteden, worden autonome taxi's en bussen goedkoper dan particuliere voertuigen en treindiensten.

22

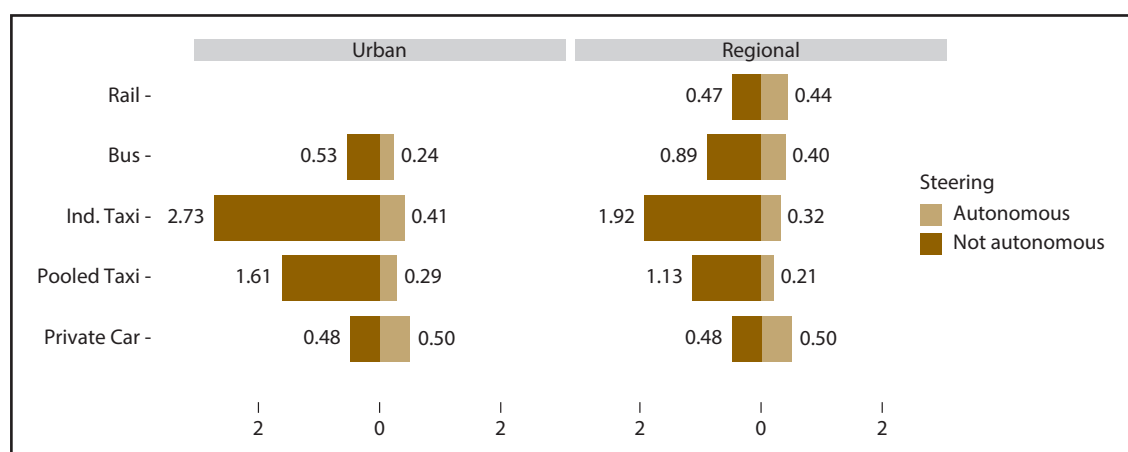
§ 3.3.4 De deelsystemen.

23

Bestudeerde kostencomponenten: overhead en voertuig, exploitatie, salarissen, brandstof, reiniging, parkeren en tol, belasting, verzekering, afschrijving, rente, onderhoud en slijtage.

24

De volgende kosten zijn in de vergelijking opgenomen: overhead & vehicle operations, salaries, fuel, cleaning, parking & tolls, tax, insurance, depreciation, interest en maintenance & wear. Voor een eerlijke vergelijking van verschillende modi werden de volledige productiekosten van de huidige openbaarvervoerdiensten geschat vóór directe subsidies.



Figuur 2.4 – Kostenvergelijking van verschillende modi met en zonder autonome voertuigtechnologie (Bösch et al., 2018)

2.2.4 Mobiliteit

Ontwikkelingen rond CAV kunnen een rol spelen in het aanbod aan mobiliteitsoplossingen. Dit kan worden geduid aan de hand van een recente beleidswijziging van de Vlaamse overheid (Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, s.d.). In juni 2019 heeft de Vlaamse overheid het oude decreet basismobiliteit vervangen door het nieuwe decreet basisbereikbaarheid.

Met het **oude decreet basismobiliteit** werden openbaarvervoermaatschappijen verplicht om elke inwoner van Vlaanderen een halte aan te bieden binnen een beperkte afstand van zijn of haar woonplaats, ongeacht of deze haltes wel of niet worden gebruikt. De aanwezigheid van een halte was bovendien geen garantie op al of niet frequent openbaar vervoer (soms dient er een beroep te worden gedaan op een belbus) en of de gewenste bestemming ook vlot bereikbaar is vanaf deze halte.

Met het concept **basisbereikbaarheid** wil de Vlaamse overheid vooral dat belangrijke locaties gemakkelijker bereikbaar zijn voor reizigers. Het vervoersaanbod dient daarbij beter te worden afgestemd op de behoeftes van de reiziger. Daarbij is het de bedoeling dat het reguliere openbaar vervoer vooral wordt geconcentreerd rond de grote assen (eventueel zelfs met een verhoogd aanbod) en dat dit wordt gecombineerd met andere vervoersmodi voor het traject tot aan of vanaf het traject dat met regulier openbaar vervoer wordt afgelegd.

In het decreet basisbereikbaarheid wordt onder meer ook verwezen naar **gedeeld transport voor de onderste vervoerslaag** (vervoer op maat). Met name voor de invulling van dit transport lijkt het dat robottaxi's op termijn een rol kunnen spelen.

2.2.5 Inname van ruimte

Een particuliere wagen wordt gedurende een groot deel van de dag niet gebruikt. Met name in een stedelijke context, waar de vraag naar ruimte groot is, kunnen **deelsystemen met zelfrijdende voertuigen** zorgen voor **minder nood aan parkeerplaatsen**²⁵. In stedelijk beleid wordt steeds meer aandacht besteed aan de bevordering van dergelijke deelsystemen. Daarnaast lijkt er een tendens te bestaan naar het beperken van het aantal voorziene parkeerplaatsen bij nieuwe woongelegenheden.

Anderzijds lijken bepaalde studies (ITF, 2015) te wijzen op een **stijging van het aantal afgelegde kilometers** bij de invoering van zelfrijdende voertuigen; voornamelijk als gevolg van het herpositioneren van voertuigen of oppikken of afzetten van mensen of goederen. Ten aanzien van autonome voertuigen heeft het beleid echter aanzienlijk meer mogelijkheden dan voorheen om zinvolle verplaatsingen te promoten. Een zelfrijdend voertuig kan, na het uitvoeren van zijn transporttaak, zelfstandig weggrijden naar een wachtzone (maximale opslagcapaciteit voor voertuigen, minimale hinder voor de gemeenschap, eventueel uitgerust voor onderhoud en laden of andere secundaire functies) of zich volledig autonoom verplaatsen naar een volgende transporttaak. Om op die manier transport efficiënt te organiseren, lijkt aangepaste infrastructuur (wachtzones) echter onontbeerlijk.

Het lijkt noodzakelijk om **parkeerbeleid** en **milieubeleid** aan elkaar te koppelen (Klochikhin, 2019). Om te voldoen aan de verplaatsingsnoden tijdens de drukke uren zal er wellicht een grote vloot zelfrijdende voertuigen nodig zijn. Tijdens de minder drukke periode moeten al deze voertuigen, in afwachting van een volgende opdracht, op een efficiënte manier kunnen worden geparkeerd. Er dient te worden vermeden dat zelfrijdende voertuigen

²⁵ Volgens een studie van OECD/ITF zou het aantal benodigde parkeerplaatsen sterk dalen indien alle verplaatsingen in een stad worden uitgevoerd met gedeelde voertuigen (Martinez & Viegas, 2016).

lange (onnuttige) verplaatsingen afleggen omdat parkeermogelijkheden onvoldoende beschikbaar of te duur (McNulty, 2019) zouden zijn.

Toekomstgericht denken ten aanzien van parkeren vindt op sommige plaatsen al ingang. Bijvoorbeeld, projectontwikkelaars in Los Angeles (VS) wordt gevraagd om parkeergarages te ontwerpen die later kunnen worden omgevormd tot woningen of winkels (Redactie Automobiel Management, 2019a).

In gebieden die nu reeds oververzadigd zijn met wagens zullen autonome voertuigen, zonder bijkomende maatregelen, geen einde maken aan de **mobilitieitsproblemen**. In stedelijke omgevingen lijken maatregelen om individueel transport te beperken cruciaal voor de leefbaarheid van deze omgeving (National Association of City Transportation Officials [NACTO], 2019). Het valt niet uit te sluiten dat steden verregaande keuzes overwegen op het vlak van toegang tot (delen van) steden, als bereikbaarheids- en leefbaarheidsdoelstellingen niet worden gehaald. De vraag is in hoeverre daartoe noodzaak is. In de eerste plaats kiezen mensen er a priori niet voor om de eigen verplaatsing te verslechteren. Daarnaast kunnen er minder verregaande maatregelen worden ingezet, zoals ontradende maatregelen die uitgaan van de vrije keuze van verplaatsingsmodi. Een door sommige verkeersexperten voorgesteld voorbeeld daarvan is het beprizen van verplaatsingen met een differentiatie naar vervoermiddel, tijdstip en locatie.

2.2.6 Energie-efficiëntie & milieuvriendelijkheid

Een drijfveer voor de invoering van CAV is de energie-efficiëntie en de luchtkwaliteit.

Een aantal toepassingen voor (geconnecteerde) voertuigen zijn erop gericht om een **homogenere snelheid** te bewerkstelligen. Een **homogenere snelheid** is gunstig op meerdere vlakken:

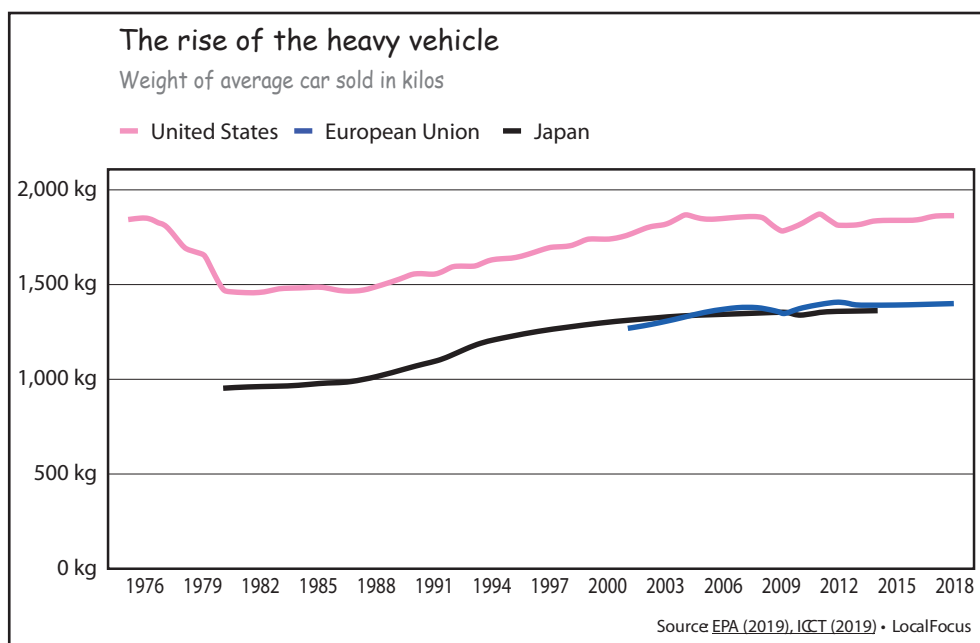
- het energieverbruik en de lokale CO₂-uitstoot;
- de uitlaatmissies (voornamelijk PM, PN & NOx) van voertuigen met verbrandingsmotor;
- de niet-uitlaatmissies van alle voertuigen (PM & PN van schijfremmen, banden, wegdek) doordat minder (hard) moet worden geremd.

Voorbeelden van toepassingen:

- voertuigen die informatie krijgen van verkeerslichten, op basis waarvan het voertuig zijn snelheid kan aanpassen aan de groenfase;
- verlengde groenfasen voor voertuigen en beïnvloeding van de fasen door bepaalde voertuigcategorieën (bv. prioritaire voertuigen);
- anticipatief rijgedrag door assistentiesystemen in te zetten op autosnelwegen. Dit kan leiden tot bijvoorbeeld minder accordeonfiles (situaties waarin congestie wordt afgewisseld met vrij rijdend verkeer).

De uitstoot heeft ook te maken met de bezettingsgraad van voertuigen. Het succes van **deelsystemen** met autonome voertuigen kan daar een positief effect op hebben, met name in een stedelijke context.

Een ander aspect dat meespeelt voor de belasting van de wegen is en op uitstoot en verbruik is de massa van de voertuigen. Onderstaande figuur geeft de evolutie van de gemiddelde voertuigmassa van nieuwe voertuigen weer in Europa, de Verenigde Staten en Japan.



Figuur 2.5 – Evolutie van de massa van nieuw verkochte wagens (Frederik, 2020)

Het is af te wachten hoe dit zich ontwikkelt. Het verwachte groter succes van elektrische voertuigen en andere technologische ontwikkelingen in de komende decennia beïnvloedt mogelijk de evolutie van de gemiddelde massa. Enerzijds lijkt een *downsizing* van voertuigen (lichter = minder energieverbruik) mogelijk, anderzijds vereisen elektrische voertuigmodellen met een groot rijbereik een grote batterij en zijn ze hierdoor zwaarder dan vergelijkbare modellen met een verbrandingsmotor.

Als zelfrijdende voertuigen in de toekomst 100 % betrouwbaar functioneren zullen deze naar alle verwachtingen bij minder of andere types van ongevallen betrokken zijn. De homologatie-eisen aan de voertuigkenmerken die bijdragen tot botsveiligheid kunnen dan wijzigen en zullen wellicht gevolgen hebben voor de constructie en de massa van voertuigen (Morsink, Klem, Wilmink & de Kievit, 2016) en dus ook op het energieverbruik ervan. Indien voertuigkenmerken wijzigen kan dit bovendien ook gevolgen hebben voor weginrichting²⁶.

Voor wat betreft infrastructuur speelt ook de noodzaak om te voorzien in **laadinfrastructuur** voor batterij-elektrische voertuigen en tankinfrastructuur voor brandstofcel-elektrische voertuigen, waarvoor een deel in de openbare ruimte moet worden gereserveerd.

In beleidsplannen is er een tendens te constateren om de leefbaarheid in steden centraal te stellen en daarbij beperkingen op te leggen aan de uitstoot van voertuigen. Als men spreekt in termen van elektrificatie van voertuigen, dan is er feitelijk sprake van een parallel proces dat potentieel gelinkt is aan de ontwikkeling van CAV en aan de ontwikkeling van deelsystemen.

Veelal wordt verondersteld dat zelfrijdende voertuigen zullen worden aangedreven door elektromotoren. Als het aandeel van deze voertuigen toeneemt, is het derhalve belangrijk om eveneens te voorzien in voldoende oplaadmogelijkheden voor batterij-elektrische voertuigen en in waterstoftankstations voor brandstofcel-elektrische voertuigen (laadinfrastructuur, *charging*) (Gowling WLG & UK Automotive, 2018).

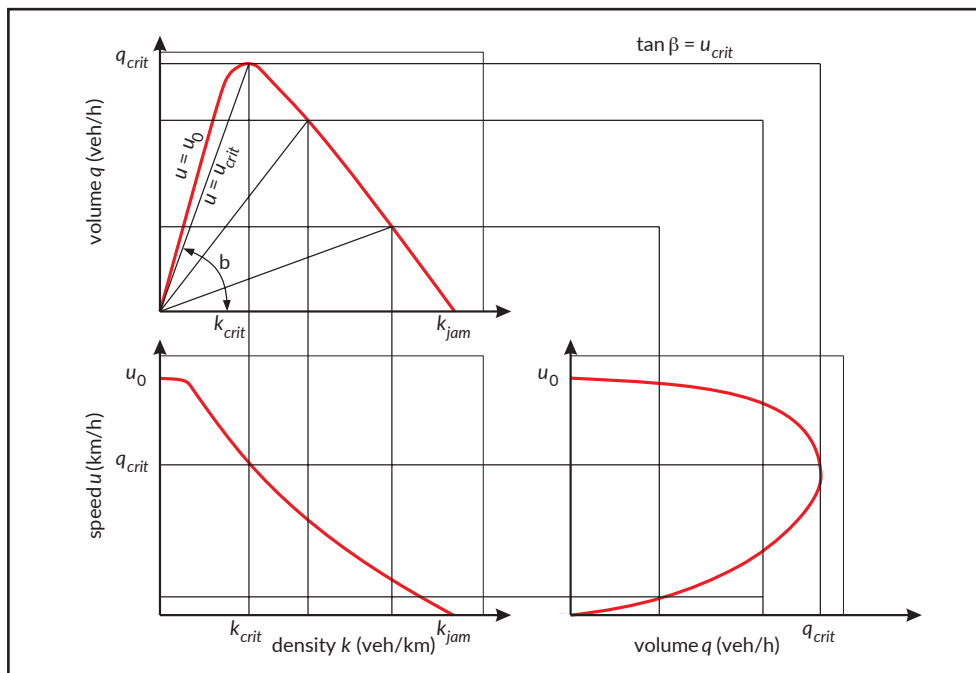
26 Wijzigende voertuigkarakteristieken hebben ook een impact op de technische specificaties van vergevingsgezinde weguitrusting. De evaluatiemethodes voor deze installaties houden rekening met gemiddelde voertuigkenmerken (zie NBN EN 12767: *Passive safety of support structures for road equipment – Requirements and test methods* (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2019) en NBN EN 1317: *Afschermdende constructies voor wegen*) (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2002-2010). Indien deze voertuigkenmerken wijzigen dient hiermee rekening te worden gehouden in deze evaluatiemethodes.

2.2.7 Wegcapaciteit

De **verkeersafwikkeling** kan worden beschreven aan de hand van:

- intensiteit (q) het aantal voertuigen per uur;
- dichtheid (k) aantal voertuigen per km weglengte;
- snelheid (u) km/uur.

De **fundamentele relatie** is de verkeerskundige functie die de relaties tussen intensiteit en dichtheid, snelheid en dichtheid, en snelheid en intensiteit beschrijft ("Fundamentele relatie", 2020).



Figuur 2.6 – Relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid ("Fundamentele relatie", 2020)

Bepalend voor het gedrag van het verkeer zijn meerdere parameters:

- maximale intensiteit (q_{crit}), ook wel de capaciteit genoemd;
- kritische dichtheid (k_{crit}), de dichtheid bij maximale intensiteit;
- maximale dichtheid (k_{jam}) op een weg;
- vrije snelheid (u_0), de gemiddelde snelheid bij ongehinderde doorstroming;
- kritische snelheid (u_{crit}), de snelheid waarbij de weg het meest efficiënt wordt gebruikt.

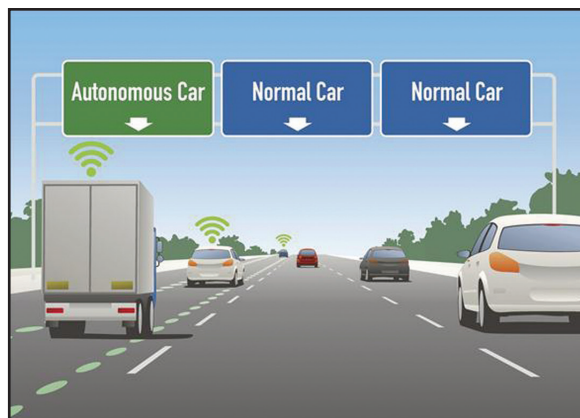
Omgevingsfactoren beïnvloeden de parameters (inrichting van de weg, kwaliteit van het wegdek, indeling rijbaan, enz.). De capaciteit is geen vast gegeven, maar is afhankelijk van de **samenstelling van het verkeer** en het weer ("Fundamentele relatie", 2020).

In een scenario met **uitsluitend** geautomatiseerde voertuigen kan de beschikbare infrastructuur efficiënter worden gebruikt, onder meer omdat de **afstand tussen CAV** kan verminderen en omwille van een homogenere snelheid. Simulatie resultaten voor wegen met een groot volume tonen een variatie van 0 tot 30 % capaciteitsverhoging. Dit is afhankelijk van meerdere factoren: naargelang de sectie, de penetratiegraad van autonome voertuigen, de snelheid, het weer en het aandeel vrachtverkeer (Leeb, 2019).

Uit Duits onderzoek blijkt echter dat in **overgangsscenario's** voor autosnelwegen de capaciteit zou kunnen afnemen. Doordat de interacties tussen zelfrijdende voertuigen en voertuigen met een menselijke bestuurder minder vlot verlopen zal allicht een grotere veiligheidsafstand worden gehanteerd waardoor in een eerste fase de capaciteit inderdaad kan dalen (Leeb, 2019). De **penetratiegraad** van autonome voertuigen in het overgangsscenario is daarbij een belangrijk element. Bij een voldoende aantal autonome voertuigen kunnen gereserveerde rijstroken voor uitsluitend autonoom rijden tot aanzienlijke capaciteitswinsten leiden (Friedrich, 2015). De bedenking hierbij is hoe sociaal aanvaardbaar gereserveerde rijstroken zijn. Bij een te vroege introductie kunnen wellicht enkel de 'happy few' gebruik maken van een gereserveerde en vlot berijdbare rijstrook. De stille meerderheid moet het dan doen met minder wegcapaciteit.

Gereserveerde rijstroken voor zelfrijdende voertuigen kunnen een incentive zijn om mensen aan te zetten naar andere voertuigen over te stappen. Indien succesvol lijkt het echter waarschijnlijk dat zulke gereserveerde rijstrook snel verzadigd zal zijn. De ervaringen in Noorwegen met het toelaten van EV (elektrische voertuigen) op busbanen laten zien dat dergelijke toelating ook negatieve gevolgen kan hebben: congestie neemt tijdens de spits toe parallel met de verkoop van EV (Bannon, 2016).

Het **theoretisch potentieel voor capaciteitsvergroting** in steden zou bij een maximale penetratiegraad rond de 20 tot 40 % liggen. Met name bij verkeerslichtenregelingen zou dit van toepassing zijn: de nodige tijd per voertuig zou minder zijn, de voertuigen zouden vlotter kunnen optrekken en het kruispunt zou sneller ontruimd kunnen zijn (Leeb, 2019).



Figuur 2.7 – Gereserveerde rijstroken voor zelfrijdende voertuigen (Albricht, 2017)

2.3 SAE-levels

2.3.1 Classificatiesysteem

De organisatie SAE International (een orgaan voor standaardisering in de automobiel-industrie) heeft een classificatiesysteem uitgewerkt voor geautomatiseerde besturingen op de openbare weg. Het classificatiesysteem is gebaseerd op de hoeveelheid benodigde bestuurdersinterventie en aandacht. In 2018 heeft SAE International zijn classificatie bijgewerkt (genaamd J3016_201806).

		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	
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 2.8 – SAE-classificatiesysteem (“SAE International releases updated visual chart”, 2018)

Het systeem wordt ook in België gehanteerd (zie de gedragscode voor het testen van autonome voertuigen) (FOD Mobiliteit en Vervoer, 2016b).



Figuur 2.9 – Illustratie SAE Level 3 (Metamorworks, s.d.)

2.3.2 SAE-levels en weginfrastructuur

27
Het gaat om de 'weg' in ruime betekenis: de wegoopbouw, de weguitrusting, en met inbegrip van de nabije wegomgeving. Bijvoorbeeld op straatniveau in steden gaat het om de weg van gevel tot gevel; op autosnelwegen zijn de niet berijdbare delen zoals bermen en middenbermen inbegrepen.

In de situatie zonder CAV is het verplaatsingssysteem gebaseerd op interactie tussen de mens, het voertuig en de weginfrastructuur²⁷. De mens heeft een directe interactie met het voertuig en met de weginfrastructuur. Naarmate het SAE-level stijgt, wordt de mens meer geholpen in zijn rijtaak. Uiteindelijk, bij **SAE L5**, zal het voertuig **volledig autonoom** rijden en zullen inzittenden zich gedurende de volledige verplaatsing met andere zaken bezig kunnen houden. Een als SAE L5 gehomologeerde wagen is in staat eventuele conflictsituaties volledig zelfstandig op te lossen.

Vanaf SAE Level 3 zijn geautomatiseerde voertuigen in staat alle of bepaalde rijtaken zelf af te handelen op basis van hun waarneming van de rijomgeving. In het geval van SAE Level 0, Level 1 en Level 2 is de bestuurder verantwoordelijk voor het monitoren van de rijomgeving. In het geval van SAE Level 1 en 2 kan het voertuig al beperkte ondersteuning bieden aan de bestuurder of bepaalde rijtaken overnemen.

De bestuurder van een geautomatiseerd voertuig tot en met **SAE L3** (*conditional automation*) dient steeds in staat te zijn de besturing van zijn of haar voertuig over te nemen. Voertuigsensoren moeten in staat zijn om de weg, andere voertuigen en eventuele obstakels tijdig te detecteren en, indien nodig, de bestuurder hiervan te informeren zodat deze tijdig de besturing van het voertuig kan overnemen. Meer harmonisering en een hoger kwaliteitsniveau kunnen bijdragen aan meer betrouwbaar functioneren van SAE L3 systemen, maar aangezien er steeds een kans blijft bestaan dat de controle van het voertuig bij de menselijke bestuurder ligt, dient ook infrastructuur rekening te blijven houden met een menselijke bestuurder.

Zelfs bij **SAE L4** (*high automation*) wordt er voor kritische situaties of in geval van niet functionerende systemen nog steeds gerekend op een menselijke bestuurder. Ontwerprichtlijnen dienen hier dus nog steeds rekening mee te houden²⁸.

28
Ontwerprichtlijnen: zie § 3.2.1 Ontwerprichtlijnen.

Voor het Nederlandse Rijkswaterstaat is de situatie van 100 % SAE L5 voertuigen een theoretische exercitie (Morsink et al., 2016). Ze stellen het volgende:

- dat veel aanpassingen aan het wegontwerp mogelijk nodig en zinvol zijn op de langere termijn, als er sprake is van alleen maar **SAE L5-voertuigen**;
- dat er niet veel kan worden veranderd aan het wegontwerp zolang er sprake is van gemengd verkeer, met een mix van voertuigen van verschillende SAE-levels;
- dat het onmogelijk is om aan te geven **binnen welke termijn** er sprake is van een voldoende aandeel SAE L5 om het wegontwerp te doen 'kantelen' (d.w.z. het autonome voertuig met SAE L5 als uitgangspunt te nemen en niet het manueel bestuurde voertuig) als uitgangspunt voor het ontwerp van (een deel van) de infrastructuur.

Het wachten op het moment dat enkel SAE L5 voertuigen van de weginfrastructuur gebruik maken om de ontwerprichtlijnen aan te passen is niet te verkiezen. Een **continu evaluatieproces** is een betere insteek, evenwel met welgekozen aanpassingen van de ontwerprichtlijnen:

- het effectief aanpassen van ontwerprichtlijnen voor een bepaald type of deel van de weginfrastructuur is mogelijk als alle voertuigen over een bepaald niveau van mogelijkheden beschikken;
- het is voor wegbeheerders en aannemers weinig praktisch indien ontwerprichtlijnen continu worden aangepast.

Bovendien dient er ook rekening te worden gehouden met **onbeschikbaarheid van de connectiviteit**. In dat geval dienen voertuigsensoren en/of de menselijke bestuurder de rijtaak over te nemen en dient de infrastructuur nog steeds toe te laten dat dit op een correcte en veilige manier kan gebeuren (Farah, 2016). Men kan zich daarbij afvragen of gebruikers van zelfrijdende voertuigen nog wel voldoende bekwaam zullen zijn om die rijtaak plots over te nemen, als geautomatiseerde systemen het opgeven of als dit nodig is in complexere situaties.

2.4 Uitrol CAV & hinderpalen

Het is niet duidelijk hoe snel de uitrol van autonome voertuigen zal verlopen. Voertuigen die als SAE L3 voertuigen kunnen worden getypeerd zijn recent op de markt gebracht. Voertuigen van SAE L4 worden sinds enige tijd getest²⁹. De datum van het op de markt verschijnen van voertuigen met SAE L5 is verre van duidelijk: de verwachtingen van constructeurs zijn sterk verschillend.

29

Bijvoorbeeld Google's Waymo project in Arizona (<https://waymo.com/>).

2.4.1 Weginfrastructuur

Een deel van de autoconstructeurs dringt aan op een **weginfrastructuur van hogere kwaliteit**, terwijl andere autoconstructeurs zich bij de ontwikkeling van autonome voertuigen eerder baseren op de voorhanden zijnde weginfrastructuur.

Onder meer (het ontbreken van voldoende zichtbare) **wegmarkeringen** is op dit ogenblik voor sommige constructeurs een hinderpaal voor het betrouwbaar functioneren van autonome voertuigen.

De **betrouwbaarheid van de systemen** (zoals ISA en LDWS) is van belang bij het succes en een veralgemening ervan. Naast de technologische ontwikkeling en de acceptatie van de technologieën zijn er ook een aantal infrastructurale aspecten die een rol spelen. Zo kan een harmonisering van weginfrastructuur (kleur, reflecterende materialen, enz.) de uitrol van CAV positief beïnvloeden.

De **ontwikkeling van cameratechnologie en beeldverwerkingsalgoritmen** gaan zodanig snel dat toekomstige systemen beter overweg kunnen met minder goede markeringen. Het upgraden van markeringen ten behoeve van ondersteuning van zelfrijdende voertuigen is mogelijk overbodig. Toekomstige ontwikkelingen laten wellicht toe dat markeringen die vandaag als onvoldoende worden beschouwd in de toekomst toch correct kunnen worden herkend door camerasystemen en verwerkingsalgoritmen. In een verdere toekomst worden deze markeringen misschien zelfs volledig overbodig indien er kan worden vertrouwd op nauwkeurige geolokalisatie en er betrouwbare digitale informatie over de fysieke infrastructuur beschikbaar is.

Zolang er sprake is van een mix van voertuigen (diverse SAE-levels), blijft het enorm belangrijk om de **kwaliteitsnormen van de markeringen** effectief te halen. De verbetering van de technologie (camera, verwerking) staat los van het noodzakelijke onderhoud van wegenis en wegmarkering in het bijzonder.

2.4.2 Diverse hindernissen³⁰

De weg naar een volledig autonome mobiliteit ligt echter bezaaid met heel wat **hindernissen**. De technische aspecten (betrouwbare en performante communicatie,

30

Diverse initiatieven brengen stakeholders met uiteenlopende expertises samen om prioriteiten vast te leggen voor O&O om de verdere ontwikkeling van autonome mobiliteit te faciliteren (o.a. EU CCAM Partnership [https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en]) en om te identificeren welke stappen door wegbeheerders kunnen gedaan worden voor de ondersteuning van autonome mobiliteit (bv. ITF WG preparing transport infrastructure to autonomous mobility).

nauwkeurige en betrouwbare geolokalisatie, enz.) lijken daarbij nog relatief 'eenvoudig' oplosbaar. Voor andere onderwerpen (ethiek, financiering, verkeersreglementering, homologatie voertuigen, werkgelegenheid, privacy en cybersecurity, enz.) lijkt het antwoord voorlopig nog veraf.

Complex voor zelfrijdende wagens zijn ook **extreme weercondities** (hevige regenval, sneeuwvlokken worden soms aanzien voor personen) en bijzondere situaties (wegenwerken). Systemen die functioneren op basis van de detectie van hun omgeving (wegmarkeringen, verkeersborden, enz.) worden hierdoor gehinderd. In de toekomst zullen detectiesystemen wellicht betrouwbaarder worden ("Zelfrijdende auto niet langer sneeuwblind", 2020) en misschien worden gecombineerd met systemen die toegang hebben tot gedigitaliseerde informatie over de weg waarop ze zich bevinden (zogenaamde *digital infrastructure*) waardoor zij minder afhankelijk worden van de werking van deze sensoren. De ITS-kaderrichtlijn vraagt de lidstaten om werk te maken van weg-, verkeers- en vervoersgegevens die voor digitale kaarten worden gebruikt.

Een niet te onderschatten complexiteit is de **onvoorspelbaarheid van menselijk gedrag**. Mensen volgen niet altijd de verkeersregels (bv. ze negeren een rood licht, of ze stoppen onverwachts voor het overige verkeer om dubbel te parkeren). Het is niet te verwachten dat dergelijk gedrag vermindert bij de uitrol van autonome voertuigen. Het is een uitdaging om autonome voertuigen te leren omgaan met dergelijk onvoorspelbaar gedrag. Het harmonieus en veilig samengaan van geautomatiseerde zelfrijdende voertuigen en niet geautomatiseerde en onvoorspelbare voetgangers en fietsers is voorlopig nog een onderbelicht aspect (Van Schagen et al., 2017). Erkenning van deze problematiek in de eerste plaats, en de ontwikkeling van geavanceerde camera's en meetsystemen (als basis voor geautomatiseerde voertuigfuncties) in de tweede plaats, bieden kansen om stappen te zetten op het vlak van omgaan met onvoorspelbaar gedrag.

De **horizon voor hogere automatiseringsniveaus** is onduidelijk. Optimistische scenario's voorspellen een penetratie van 15 % SAE L4 voertuigen in 2030 [35]. Het is alleszins duidelijk dat een volledige autonome mobiliteit (100 % SAE L5 voertuigen) nog veraf is: volgens sommigen na 2075 of misschien zelfs nooit (Morsink et al., 2016).

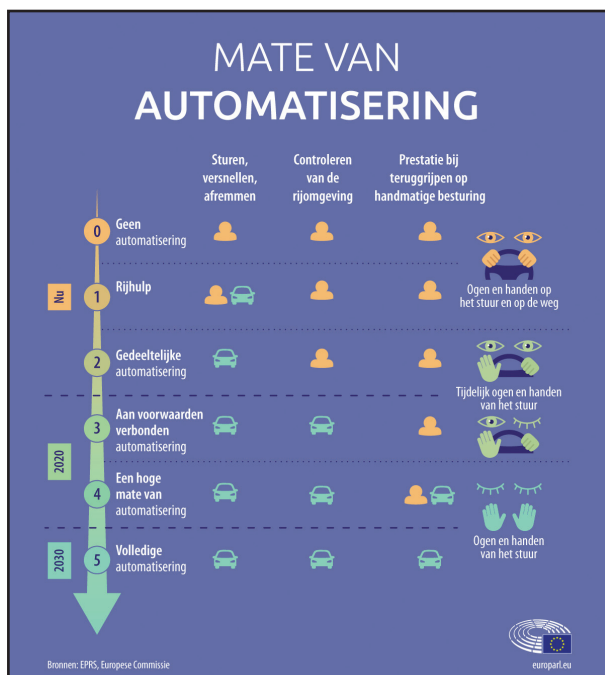
Een artikel over verklaringen van de elf grootste autofabrikanten maakt duidelijk dat kunstmatige intelligentie (**Artificial Intelligence**, AI) onvermijdelijk is voor autonome auto's. Vanwege de complexiteit ervan, lijkt het echter niet waarschijnlijk dat autonome voertuigen op snelwegen gemeengoed zijn in de vroege jaren 2020 (wat de meeste autofabrikanten rond 2016 verklaarden) (Faggella, 2020)³¹.

In SAE L3-voertuigen, relatief recent in de markt gezet, rijdt de bestuurder niet wanneer de geautomatiseerde rijfuncties zijn ingeschakeld. De bestuurder moet echter wel rijden wanneer het voertuig erom vraagt. Die **overgang** is kritiek omdat de automatische functie uitvalt en de bestuurder de controle van het voertuig moet overnemen in de seconden die volgen:

- Onvoldoende tijd voor de chauffeur om zich rekenschap te geven van de verkeerssituatie rondom het voertuig. SAE L4-voertuigen beheersen die overgang in specifieke *use cases* (ODD) wel. Het einde van de *use case* is geruime tijd vooraf bekend en dat geeft de bestuurder de kans om zich tijdig voor te bereiden en de controle van het voertuig over te nemen.
- Omdat de overgang kritieke situaties met zich mee kan brengen, overwegen sommige autofabrikanten de overstap van **SAE L2 naar SAE L4** in één keer te maken (Litzler, 2019).

31

In het artikel wordt de omschrijving 'autonome voertuigen op snelwegen' niet gepreciseerd. De link met SAE-levels is onduidelijk.



Figuur 2.10 – Mate van automatisering, EPRS / Europese Commissie (“Zelfrijdende auto’s in de EU”, 2019)

De penetratiegraad van CAV hangt ook af van de **acceptatie van CAV** door alle bestuurders. Is het denkbaar dat bestuurders afzien van autonome voertuigen, omdat ze geen plezier kunnen beleven aan het zelf rijden? Moet het gebruik van autonome voertuigen bij wet worden voorgeschreven? Indien ja, onder welke omstandigheden? Het antwoord op deze vragen is nog open (Leeb, 2019).

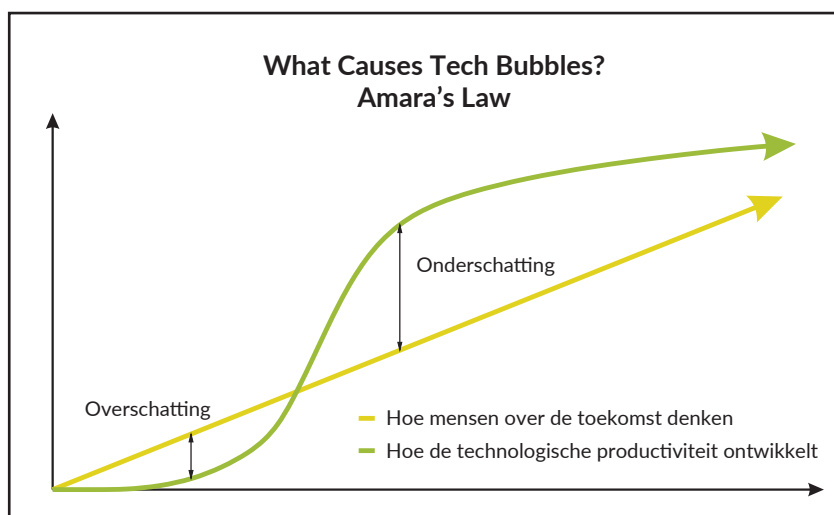
Een ander belangrijk punt is het **verwachtingspatroon** van mensen over verkeersveiligheid. Te veel vertrouwen in technologie kan problematisch zijn en het imago van autofabrikanten op het spel zetten. Een ongeval met autonome voertuigen ondermijnt het vertrouwen van het publiek in een belangrijke drijfveer van de autofabrikanten: het verkeerssysteem veiliger maken. Voor autofabrikanten is een veilig imago uiterst belangrijk. Autofabrikanten zijn zich duidelijk bewust van het feit dat ongevallen met zelfrijdende auto’s in de pers breed worden uitgesmeerd. De *Event Data Recorder* (EDR) laat echter toe om in het geval van een ongeval de belangrijkste ongevalsgegevens te kennen evenals wie de controle over het voertuig had op het ogenblik van het incident: de mens (bestuurder) of het algoritme.

2.4.3 Toekomstverkenning

Toekomstverkenning voor wegbeheerders is noodzakelijk, zeker voor wat betreft de uitrol van CAV en de mogelijke implicaties voor de maatschappij. Toekomstverkenning is echter verre van gemakkelijk.

De **wet van Amara** (Kerner, 2016) geeft aan dat we de mogelijkheden van technologieën weliswaar moeten relativeren, maar niet moeten onderschatten. Mensen zijn in het begin van een nieuwe technologie enthousiast en overschatten de technologische en praktische mogelijkheden. Naargelang de tijd vordert, ziet de mens in dat het moeilijker is dan gedacht en worden verwachtingen meer afgestemd op technologische ontwikkelingen. Op de lange termijn is er een neiging om de impact van technologische ontwikkelingen te onderschatten.

Dit proces zien we overduidelijk terug bij de ontwikkeling van autonome voertuigen: initieel een groot enthousiasme over de (technische) haalbaarheid en geleidelijk aan het besef dat het nogal wat voeten in de aarde heeft.



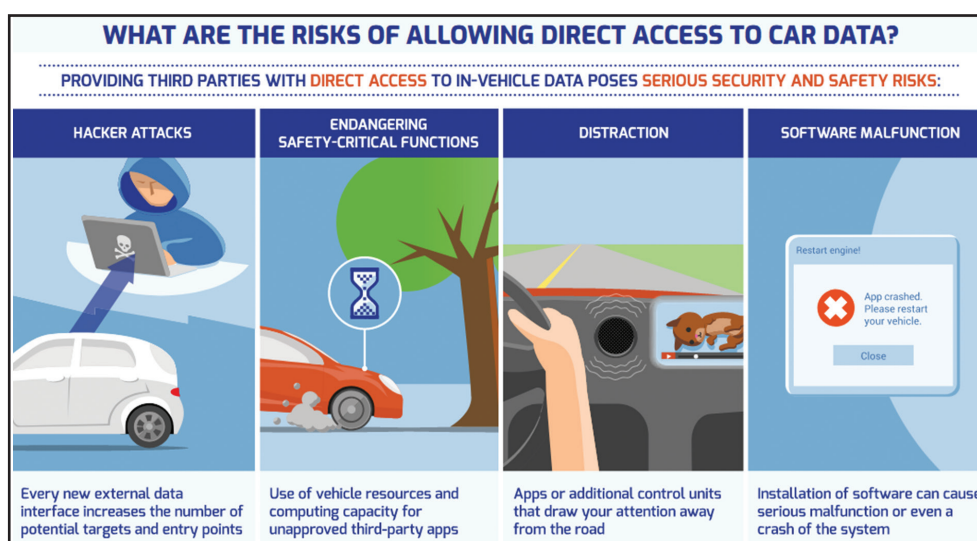
Figuur 2.11 – Amara's law. tech bubble? (Kerner, 2016)

2.4.4 Cybersecurity

Zelfrijdende wagens zijn geavanceerde computers op wielen; in essentie met gelijkaardige kwetsbaarheden als andere geïnformatiseerde systemen. Het is uitermate belangrijk dat de **betrouwbaarheid** van deze systemen 100% kan worden gegarandeerd. Zeker als zelfrijdende voertuigen ook nog worden geconnecteerd is het fundamenteel dat het systeem ook blijft functioneren als deze connectiviteit (kortstondig) wegvalt. Voertuigfuncties die relevant zijn voor de veiligheid worden best geïsoleerd van andere systemen (ITF, 2018). Dit past in het idee dat de werking van noodsystemen niet afhankelijk mag zijn van het al dan niet beschikbaar zijn van connectiviteit³².

Voor meer informatie over car data: <https://www.cardatafacts.eu/extended-vehicle-concept/>

Toegang van het voertuig tot gegevens betekent dat elke externe dienstverlener directe en ongecontroleerde toegang kan hebben tot de gegevens in een motorvoertuig. Volgende figuur geeft de risico's weer:



Figuur 2.12 – De risico's van directe toegang tot voertuigdata ("What are the risks", s.d.)

De **potentiële gevaren** zijn hackeraanvallen, gevaar voor veiligheidskritische functies, extra veiligheidsrisico's met betrekking tot afleiding van de bestuurder, en softwarestoring.

2.5 Autonome voertuigen voor beperkte toepassingen

Hoge ontwikkelingskosten voor hogere automatiseringsniveaus spelen ook een rol in de uitrol. Deze kosten verschillen naargelang het gebruikerstype. De **ontwikkelingskosten** voor particuliere autonome voertuigen zijn voor grote automobielenconcerns lastig te rechtvaardigen. Bijvoorbeeld PSA, één van de grootste Europese automobielenconcerns, stelt wel te blijven investeren in SAE L4 en SAE L5 voor robottaxi's en shuttlediensten, maar niet in particuliere voertuigen met die hoge automatiseringsniveaus (Redactie Automobielen Management, 2019c). De ontwikkeling van deze zelfrijdende shuttles voor specifieke toepassingen op een bepaald traject of binnen een beperkt gebied gebeurt bovendien niet enkel door de klassieke automobielenconcerns, maar ook door relatief nieuwe spelers, soms eerder met banden met de ICT-sector dan met de automobielensector (bv. Waymo (<https://waymo.com/>), Easymile (<https://easymile.com/>)). Verschillende van deze nieuwe spelers zijn ondertussen samenwerkingen aangegaan met gevestigde autoconstructeurs.

Voorbehouden rijstroken voor autonome voertuigen, op vooraf gedefinieerde trajecten of binnen een afgebakende omgeving, hebben het voordeel dat de voertuigen te maken krijgen met een beperktere hoeveelheid aan randinformatie:

- start- en stopplaatsen kunnen bijvoorbeeld vast in het voertuig worden geprogrammeerd;
- fysieke bakens kunnen helpen om de nauwkeurigheid van de geolokalisatie van het voertuig te verbeteren.

Voor wat betreft autonome shuttles kunnen ervaringen met dit type zelfrijdende voertuigen binnen een afgebakende verkeersomgeving ontwikkelaars helpen om de algoritmen die het gedrag van het voertuig sturen te verbeteren en meer kennis op te doen over de interactie tussen zelfrijdend voertuig, omgeving en andere weggebruikers³³. Zo'n vereenvoudigde omgeving verhoogt de betrouwbaarheid in de aanvangsfase, daar het aantal variabelen minder hoog is.

Er is een groot verschil tussen de gebruiksomstandigheden van autonome shuttles (die niet gehomologeerd zijn en vooralsnog niet op de openbare weg rijden) en voertuigen van voertuigconstructeurs (gehomologeerd voor gebruik op de openbare weg). De resultaten van testen zijn daardoor slechts beperkt overdraagbaar.

2.6 Mix van voertuigen met verschillende SAE-levels

De komende decennia zullen derhalve worden gekenmerkt door een **mix van voertuigen van verschillend SAE-level**. Volledige autonome voertuigen (SAE L5) zullen naar alle waarschijnlijkheid eerst ingang kunnen vinden in situaties met weinig interactie of onder specifieke, beperkte omstandigheden (binnen een specifiek *Operational Design Domain*, ODD) (Redactie Automobielen Management, 2019d). Te denken valt aan aparte rijstroken op autosnelwegen of op afgeschermd busbanen. Dit neemt echter niet weg dat er al testen plaatsvinden in wat complexere situaties. Voorbeelden van shuttlediensten:

- in kantorenwijk La Défense te Parijs, waar tussen de zomer 2017 en zomer 2019 een autonome shuttlebus rond reed in een omgeving vol met voetgangers (Klochikhin, 2019; "La navette autonome", 2017);

33

De Lijn start in 2020 en 2021 met experimenten met zelfrijdende shuttles op de luchthavenverreinen in Zaventem en in Antwerpen. De MIVB zet zijn testen voort, na het park van Woluwe en de Solvay Campus volgt een nieuwe test bij het Brugmann-ziekenhuis. Ook in Louvain-la-Neuve zullen er testen plaatsvinden.

- in de regio Rotterdam (Capelle aan den IJssel), waar een nieuwe generatie ParkShuttle zal rondrijden op de openbare weg (Lohmann, s.d.).

Er zijn diverse **scenario's** mogelijk voor de uitrol van autonome voertuigen. Zo heeft men in Zwitserland nagedacht over ontwikkelingsscenario's in drie toepassingsgebieden. Er worden, (zonder er duidelijk termijnen op te plakken), ontwikkelingsperspectieven geschetst voor drie categorieën vervoer (geïndividualiseerd gemotoriseerd verkeer, openbaar vervoer op de openbare weg en treinverkeer) (Leeb, 2019).

Stadium	Geïndividualiseerd gemotoriseerd verkeer	Ov op de openbare weg	Treinverkeer
1	Rijassistentie SAE L1 / L2 op hele netwerk	Experimentele wegvakken	Geïsoleerde toepassing
2	SAE L3 toegestaan op hoge snelheidsweg	Minibus (SAE L4) in normaal gebruik in agglomeratie	Geselecteerde experimentele vakken
3	SAE L4 toegestaan op hoge snelheidsweg, SAE L3 in stedelijk gebied	Minibus (SAE L5) in normaal gebruik in agglomeratie	Geautomatiseerde treinen op delen van het net
4	SAE L4 toegestaan in stedelijk gebied, SAE L3 op interstedelijke wegen	Minibus (SAE L5) in gebruik in normaal gebruik in agglomeratie en daarbuiten	Geautomatiseerde treinen op delen van het net
5	SAE L4 toegestaan op interstedelijke wegen, en nadien SAE L5 op het hele netwerk	Alle voertuigen (SAE L5) in normaal gebruik in agglomeratie en daarbuiten. Adaptief ov / zonder parcours.	Geautomatiseerde treinen op het hele net
6	SAE L5 op hele netwerk, beïnvloeding door overheid	Beïnvloeding van overheid	

Tabel 2.3 – Ontwikkelingsscenario's AV in drie toepassingsgebieden, in Zwitserland

§ 5.1 Relevante regelgeving.

34

2.7 Regelgeving³⁴

Europese ITS-richtlijn

Met Richtlijn 2010/40/EU (2010) heeft Europa een aantal doelen geformuleerd voor Intelligente Transportsystemen. Heel summier kan worden gesteld dat deze richtlijn een efficiënt gebruik van voertuiggegevens (of intelligente vervoerssystemen) nastreeft om een veilig en vlot gebruik van de bestaande transportinfrastructuur mogelijk te maken. Heel concreet stelt de richtlijn **zes prioritaire acties** voorop waarrond de eerste inspanningen dienen te worden geconcentreerd:

- multimodale reisinformatiediensten (MMTIS);
- realtimeverkeersinformatiediensten (RTTI);
- minimale universele verkeersinformatie in verband met de veiligheid op de weg die kosteloos is voor de gebruikers;
- eCall;

- informatiediensten voor veilige en beveiligde parkeerplaatsen voor vrachtwagens en bedrijfsvoertuigen;
- reservatiediensten voor veilige en beveiligde parkeerplaatsen voor vrachtwagens en bedrijfsvoertuigen.

Voor de eerste vijf acties heeft Europa intussen **gedelegeerde verordeningen** gepubliceerd met algemene richtlijnen voor de uitwerking van elke actie in de verschillende lidstaten.

Specifiek voor wat betreft infrastructuur lijken vooral volgende verordeningen relevant:

- **Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/962 (2015)** ('Realtimeverkeersinformatiediensten') legt onder meer vast welke data in verband met infrastructuur via digitale informatiediensten beschikbaar moet worden;
- **Gedelegeerde Verordening (EU) Nr. 886/2013 (2013)** ('Minimale universele verkeersveiligheidsinformatie') regelt welke informatie dient te worden geregistreerd. Deze gegevens kunnen zinvol zijn om andere weggebruikers te informeren, maar kunnen eveneens voor wegbeheerders een goed hulpmiddel zijn om interventies beter te plannen.

■ Communicatieprotocollen

Europa heeft lang getracht om een **standaard** op te leggen voor de communicatie tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en weginfrastructuur. Onenigheid tussen de stakeholders heeft er uiteindelijk toe geleid dat deze C-ITS Gedelegeerde Verordening niet werd aangenomen en dat er vooralsnog **verschillende communicatieprotocollen** naast elkaar verder worden ontwikkeld (o.a. ITS-G5 en het nog uit te rollen 5G gsm-protocol). In eerste instantie zal gebruik worden gemaakt van bestaande communicatieprotocollen (3G, 4G, 4,5G). Bij het aanbieden van ITS-diensten zal rekening moeten worden gehouden met de specifieke eigenschappen (beperkingen) van deze protocollen en het al of niet beschikbaar zijn van dit netwerk op de plaats waar men een dienst wil aanbieden (**dekking**).

■ Strategie voor C-ITS diensten

In november 2016 heeft de Europese Commissie een mededeling aangenomen waarin de **strategie** wordt vastgesteld voor de verdere ontwikkelingen van zogenaamde C-ITS diensten naar een coöperatieve, geconnecteerde en autonome mobiliteit (Europese Commissie [EC], 2016b).

Op basis van een inschatting van de kosten en de baten werd een lijst opgesteld van:

- diensten (**Day 1 services**) die technologisch haalbaar zijn (of op korte termijn haalbaar worden) en waarvoor er een marktpotentieel zou bestaan;
- diensten (**Day 1,5 services**) die technologisch haalbaar zouden moeten zijn maar voor welke het nodig is verdere afspraken te maken tussen de verschillende stakeholders.

Hazardous location notifications	Signage applications
Slow or stationary vehicle(s) & Traffic ahead warning	In-vehicle signage
Road works warning	In-vehicle speed limits
Weather conditions	Signal violation / Intersection Safety
Emergency brake light	Traffic signal priority request by designated vehicles
Emergency vehicle approaching	Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA)
Other hazardous notifications	Probe vehicle data
	Shockwave Damping (falls under ETSI Category "local hazard warning")

Tabel 2.4 – Day 1 services voor C-ITS diensten, Europese Commissie

Information on fueling & charging stations for alternative fuel vehicles

Vulnerable Road user protection

On street parking management & information

Off street parking information

Park & Ride information

Connected & Cooperative navigation into and out of the city (1st and last mile, parking, route advice, coordinated traffic lights)

Traffic information & Smart routing

Tabel 2.5 – Day 1,5 services voor C-ITS diensten, Europese Commissie

Belgische regelgeving

De Europese ITS-richtlijn werd **omgezet in Belgische wetgeving**, en over die richtlijn werd een samenwerkingsakkoord gesloten tussen de FOD Mobiliteit en Vervoer en de gewesten.

Ook op het niveau van de gewesten is de ITS-kaderrichtlijn omgezet, en bestaan er aanvullend enkele documenten (besluiten, conceptnota's).

§ 5.3 Testen: testsites & Living Labs (EU).

³⁵ 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 vastlegt³⁵.

Hoofdstuk 3

CAV en infrastructuur

Afhankelijk van de locatie, verschillen de **kenmerken** van het aanwezige verkeer aanzienlijk:

- Autosnelwegen worden meestal gebruikt door snelle gemotoriseerde voertuigen en bestuurders die op vlotte en comfortabele manier zowel korte als langere verplaatsingen trachten af te leggen op daarvoor voorziene infrastructuur.
- In stedelijke omgevingen is de snelheid veel lager en zien we een mix van voetgangers, fietsers, klassieke voertuigen en almaar meer nieuwe transportmiddelen (micromobiliteit³⁶).
- Wegen met dikwijls een mix van woonfuncties, bedrijven- en handelszones worden dan weer gekenmerkt door een mix aan voertuigen die soms aan heel verschillende snelheden voortbewegen.

36

§ 3.3.3 Opkomende micromobiliteit.

De samenstelling van het aanwezige verkeer is geen statisch gegeven. Overheidsbeleid kan een grote impact hebben op de samenstelling en de daaraan gerelateerde kenmerken. Dit is het geval in zowel steden als op autosnelwegen. Met name steden proberen de leefbaarheid te verhogen door allerlei maatregelen die ingrijpen op de toegang tot de stad voor en/of de beschikbaarheid van bepaalde categorieën van transportmiddelen.

De uitrol van autonome voertuigen is sterk gelinkt aan de ontwikkeling van **digitale infrastructuur**, en zal wellicht gevolgen hebben voor de **fysieke infrastructuur**. Een verduidelijking van beiden is verder in de tekst opgenomen³⁷.

37

§ 3.1 Fysieke infrastructuur en digitale infrastructuur.

Afhankelijk van de locatie of het type infrastructuur, en van hoe en door wie deze infrastructuur wordt gebruikt, zal de geleidelijke invoering van zelfrijdende voertuigen mogelijk aanpassingen vragen. Om dit onderscheid te verduidelijken, wordt er verder in de tekst een onderscheid gemaakt naar **autosnelwegen** en **stedelijke omgeving**³⁸. Er wordt daarbij aandacht besteed aan de korte termijn en het voorlopig utopische toekomstscenario waarbij er nog enkel geautomatiseerde voertuigen deelnemen aan het verkeer.

38

§ 3.2 Autosnelwegen en § 3.3 Wegen in stedelijke omgeving.

De eisen voor weginfrastructuur zijn nu vastgelegd op basis van de behoeften van menselijke bestuurders. Om zelfrijdend verkeer mogelijk te maken zal de aandacht allicht moeten worden uitgebreid naar andere aspecten (bv. communicatie met signalisatie, al of niet beschikbaar zijn van een digitale voorstelling van de weg, enz.). In het **Inframix-project**³⁹ werden zogenaamde ISAD levels (*Infrastructure Support levels for Automated Driving*) ontwikkeld waarbij een aanzet wordt gegeven om de minimaal benodigde infrastructuur (fysiek en digitaal) te definiëren die nodig is om bepaalde zelfrijdende functies mogelijk te maken. Een dergelijke aanpak is zinvol zijn om duidelijk te maken welk niveau van automatisering mogelijk is op een bepaald wegvak.

39

www.inframix.eu.
Zie ook § 4.2.2 Onderzoek ten behoeve van testen.

Verscheidende organisaties, zowel in België als in het buitenland, organiseren testen met zogenaamde **shuttles** (relatief trage zelfrijdende busjes voor een afgebakend traject). Op basis van de ervaringen van deze organisaties worden in een laatste onderdeel enkele aandachtspunten geformuleerd in verband met weginfrastructuur⁴⁰.

40

§ 3.4 Shuttles.

Bepaalde overwegingen zijn relevant in meerdere situaties. Hierdoor kunnen er in de tekst herhalingen voorkomen.

3.1 Fysieke infrastructuur en digitale infrastructuur

Er wordt verwacht dat het functioneren van volledig geautomatiseerde voertuigen voor een deel zal gebaseerd zijn op **gedetailleerde (digitale) kaarten** en **nauwkeurige GNSS-lokalisering**⁴¹. Deze kaarten zullen, behalve de inrichting/lay-out van de weg (rijstroken, op- en afritten, enz.), ook gedetailleerde informatie bevatten over de geldende verkeersregels (snelheden, beschikbaarheid van wegvakken, enz.) en aanwezigheid van weguitrusting (afschermende constructies, enz.).

Als de wegconfiguratie verandert (bijvoorbeeld ten gevolge van wegwerkzaamheden) is het belangrijk dat deze **gewijzigde configuratie** in realtime wordt aangepast op deze digitale kaarten en meteen beschikbaar is voor de voertuigen die op deze kaartinfo vertrouwen bij het uitvoeren van hun rijtaak ("Adapting infrastructure", 2016; Transport Systems Catapult, 2017).

Anderzijds kan digitale infrastructuur ook een rol vervullen als **back-up** voor sommige fysieke infrastructuur (met name signalisatie). Als verkeersborden of markeringen onvoldoende herkenbaar zijn of als variabele verkeersborden defect zijn, kan digitale infrastructuur en communicatie er alsnog voor zorgen dat de correcte boodschap tot in het voertuig wordt gebracht.

Bij **aanleg en onderhoud van wegen** zal het daarom wellicht uitermate belangrijk zijn dat de correcte situatie wordt ingevoerd in dit digitaal model, zodat dit steeds een correcte weergave is van de werkelijke fysieke infrastructuur.

Gedelegeerde Verordening (EU) 2015/962 (2015) stimuleert stakeholders om zogenaamde 'statische weggegevens' en 'dynamische weggegevens' via digitale kaarten aan te bieden en up-to-date te houden. Tools als **Building Information Modelling** (BIM), een digitaal model van een bestaande en/of geplande constructie bestaande uit objecten met daaraan gekoppelde informatie, kunnen hier ongetwijfeld een belangrijke bijdrage aan leveren. Het lijkt er alleszins op dat aannemers een belangrijke bijkomende taak zullen krijgen om dit digitaal model mee up-to-date te houden. Mogelijk ontstaan er gespecialiseerde ondernemingen die aannemers bijstaan, zoals ook voorkomt bij het opstellen van signalisatieplannen, communicatieplannen en minder hinder-plannen.

Wegbeheerders zullen wellicht een rol spelen bij het ter beschikking stellen van digitale informatie van hun fysieke infrastructuur. Automobielfabrikanten en fabrikanten van ADAS-systemen gebruiken deze informatie om bepaalde voertuigfuncties mogelijk te maken. Het is belangrijk dat er goede – Europese of internationale – afspraken worden gemaakt over het formaat van al deze data.

Bovendien dient deze informatie op een betrouwbare en snelle manier tot in het voertuig te worden gebracht. Een **gestandaardiseerd communicatieprotocol** en de nodige **hardware** (databekabeling en communicatie-infrastructuur) om dit te laten functioneren, worden een belangrijk onderdeel van de infrastructuur die nodig is om zelfrijdende voertuigen optimaal te laten functioneren.

3.2 Autosnelwegen

Autosnelwegen vormen de verbinding tussen landen, gewesten, grote steden en tussen belangrijke (lucht)havens. Zij worden meestal gebruikt door gemotoriseerde voertuigen voor vlot en comfortabel vervoer over korte en langere afstand.

41

De nauwkeurigheid van Galileo (https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Performances) lijkt op dit ogenblik onvoldoende voor positionering van zelfrijdende voertuigen. Voor nauwkeurige positionering dient allicht gebruik te worden gemaakt van aanvullende technieken.

Autosnelwegen lijken bij voorbaat de omgeving waar autonome voertuigen met de minste problemen kunnen functioneren. De verkeerssituatie is eenvoudiger, snelheden zijn eenvormig, er hoeft geen rekening te worden gehouden met kruisend verkeer of verkeer in tegenrichting en al evenmin met fietsers of voetgangers. De invoering op autosnelwegen is het **minst complex** (Vermaat et al., 2017). Desalniettemin moet er rekening mee gehouden worden dat het merendeel van de voertuigen op autosnelwegen nog geruime tijd geen of slechts beperkt zelfrijdende functies heeft.

3.2.1 Ontwerprichtlijnen

Voor het ontwerpen van weginfrastructuur staan ontwerprichtlijnen ten dienste van de ontwerpers, waarin cruciale kennis en expertise wordt gedeeld. In dit deel besteden we aandacht aan een aantal belangrijke elementen van de ontwerprichtlijnen.

Aan de basis van die ontwerprichtlijnen staan een aantal **concepten**, zoals de zelfverklarende weg en de vergevingsgezinde weg. Ze vormen de filosofie van de ontwerprichtlijnen en dienen om de kans op fouten door menselijke bestuurders en de gevolgen van die fouten te beperken.

In het **overgangsscenario** dient sowieso nog rekening te worden gehouden met menselijke bestuurders en de fouten die deze eventueel maken. De concepten 'vergeevingsgezinde weg' en 'zelfverklarende weg' blijven volledig overeind zolang **menselijk ingrijpen nodig** is: ze bieden een belangrijk houvast om de fouten te beperken en de gevolgen ervan te verminderen.

In een **volledig autonoom scenario** zijn er echter geen menselijke bestuurders meer. Indien de betrouwbaarheid van de systemen kan worden gegarandeerd, hoeft het wegontwerp van een autosnelweg dan ook minder rekening te houden met menselijke bestuurders. Anderzijds is het niet ondenkbaar dat ook geautomatiseerde systemen falen. Er dient nog te worden onderzocht of infrastructuur een rol kan spelen bij het oplossen van zulke probleemsituaties (bv. uitwijkzone voor defect van een individueel voertuig, andere aanpassingen om grotere probleemsituaties veilig af te handelen, enz.).

Wegverloop (horizontaal + verticaal)

Het verloop van een weg wordt mee bepaald door het landschap en aanwezige bebouwing. In de huidige situatie met menselijke bestuurders worden lange en rechte wegvakken vermeden (beperking van de horizontale rechtstand) om de aandacht van de weggebruiker vast te houden. De weg krijgt daardoor een bochtig verloop. Dit blijft van belang zolang het aandeel autonome voertuigen van hoge SAE-levels niet de overhand heeft⁴².

42

§ 2.4 Uitrol CAV & hinderpalen.

Om een rijtaak veilig te kunnen uitvoeren is het belangrijk dat een bestuurder een goed zicht heeft op het wegverloop, dat eventuele obstakels tijdig kunnen worden gedetecteerd en dat er voldoende tijd is om, indien nodig, op een veilige manier te vertragen of te stoppen. De aanbevelingen voor het **geometrisch verloop** van een weg zijn voor een groot deel gebaseerd op de behoefte van een menselijke bestuurder om een goed **overzicht** te behouden op de weg en het overige verkeer. Voor zelfrijdende voertuigen die enkel functioneren op basis van voertuigsensoren blijft deze vereiste overeind en kunnen de huidige richtlijnen voor infrastructuur die gebruikt wordt door menselijke bestuurders behouden blijven.

Bij het ontwerp van bochten gaan ontwerprichtlijnen uit van een minimale stroefheid en dwarshelling en een bepaalde ontwerpsnelheid. Bovendien wordt er bijkomend een zekere marge genomen om rekening te houden met bestuurders die de aanbevolen snelheden niet respecteren. De aanbevelingen voor het verloop van verticale bogen worden dan voornamelijk bepaald door wensen met betrekking tot het overzicht over het wegverloop (topbogen) of met betrekking tot een comfortabel wegverloop (voetbogen).

Geconnecteerde voertuigen daarentegen kunnen de informatie over het wegverloop (mogelijk beperkt tot bepaalde ODD) bekomen via digitale systemen (gedetailleerde navigatie-informatie, V2X-communicatie). In die gevallen wordt de behoefte naar een goed visueel overzicht van de weg en de wegomgeving mogelijk minder dwingend. Anderzijds dient het wegverloop wel aangepast te zijn aan de comforteisen van weggebruikers.

Naarmate het aandeel zelfrijdende voertuigen toeneemt, kunnen er zogenaamde **doelgroepstroken** worden geïntroduceerd voor voertuigen van een hoger SAE-level. Deze rijstroken voor autonoom rijden zouden smaller kunnen zijn. Er dient daarbij wel te worden vermeden dat menselijke bestuurders de rijstroken voor geautomatiseerde voertuigen gebruiken of het gedrag van de zelfrijdende voertuigen gaan imiteren. Dat zou kunnen leiden tot te hoge snelheden (in bochten) of te korte tussenafstanden (Morsink et al., 2016).

(Grote) **snelheidsverschillen** zijn problematisch voor de verkeersveiligheid. Interacties tussen voertuigen met een verschillende snelheid blijven moeilijk. Bij de aanleg van infrastructuur is de verkeersveiligheid gebaat bij een uniforme snelheid. Met zelfrijdende voertuigen kunnen de snelheidsverschillen tussen individuele wagens eenvoudiger worden beperkt.

In een scenario met 100 % SAE L5-voertuigen zou bijvoorbeeld de beperking van de horizontale rechtstand om de aandacht van een menselijke bestuurder vast te houden, niet langer nodig zijn (Morsink et al., 2016). De vraag blijft hierbij in hoeverre de inspanning om de weg aan te passen opweegt tegen de kosten.

Mits nauwkeurige positionering kunnen (geconnecteerde) **SAE L5-voertuigen** beter hun koers behouden en (door de on-boardkaartinformatie) beter anticiperen op een wijzigend verloop van de weg. De **snelheid** in een bocht kan daardoor eventueel iets hoger liggen of de **bochtstraal** kan beperkt worden. Daarvoor is het echter nodig dat de stroefheid en de dwarshelling van de weg voldoende zijn om deze hogere snelheden toe te laten. Anderzijds dient er bij vermindering van de bochtstraal of verhoging van de snelheid ook rekening te worden gehouden met het comfort van de inzittenden van zelfrijdende voertuigen en de mogelijke impact op energieverbruik.

Indien snelwegen uitsluitend gebruikt zouden worden door volledig zelfrijdende voertuigen lijkt het dat de aanbevelingen voor wegverloop kunnen evolueren (Paulsen, 2018). Voorlopig is dit echter een volledig **utopisch scenario**. Zolang er nog niet-geautomatiseerde voertuigen rondrijden op autosnelwegen, dienen menselijke bestuurders het uitgangspunt te blijven van de ontwerpaanbevelingen. Zelfrijdende voertuigen dienen daarom rekening te houden met infrastructuur zoals die vandaag ontworpen en aangelegd wordt. Pas als alle voertuigen zelfrijdend zijn en op voorwaarde dat deze kunnen omgaan met een gewijzigde geometrie van de weg, kan er worden nagedacht over effectieve aanpassingen van deze geometrie. De mogelijkheden van nieuwe voertuigen evolueren snel. Het is zinvol **ontwerpaanbevelingen periodiek te toetsen** aan deze nieuwe mogelijkheden en te onderzoeken of er zinvolle toekomstbestendige bijsturingen mogelijk zijn.

Breedte en bezetting van rijstroken

Mits een voldoende nauwkeurige en voldoende betrouwbare positionering, kan een CAV eventueel volstaan met een smallere rijstrook (Morsink et al., 2016; Paulsen, 2018). Door rijstroken van bestaande wegen te versmallen en de breedte van pechstroken en middenberm iets te verminderen, is het in bepaalde gevallen zelfs mogelijk een extra rijstrook te creëren (Farah, 2016; Paulsen, 2018). Voor voertuigen met een menselijke bestuurder dienen de huidige **aanbevelingen** voor rijstrookbreedte echter te worden **behouden**. Bovendien dienen rijstroken nog voldoende breed te zijn om de doorgang van interventievoertuigen mogelijk te maken.

In geval van een smallere rijstrook is er minder spreiding op de laterale positie van een CAV. Samen met een mogelijk hogere bezetting van voertuigen en de toename van de massa, betekent dit dat de wegstructuur meer wordt **belast**. Ervaringen met zelfrijdende shuttles, weliswaar niet op autosnelwegen, laten soms al na relatief korte periodes een verhoogde slijtage zien van het wegoppervlak in het spoor van het voertuig. In die zin lijken wegstructuren die minder gevoelig zijn voor slijtage een betere keuze voor zelfrijdende voertuigen.

Men dient ook rekening te houden met het **veiligheidsgevoel van de inzittenden** (vreesmarge) van een zelfrijdend voertuig (Farah, 2016; Morsink et al., 2016) als deze door versmalde rijstroken dichters op elkaar zouden rijden.

Specifiek in België wordt toegelaten dat **motorrijders** (onder bepaalde voorwaarden) tussen de rijstroken het trager rijdende autoverkeer inhalen. Als rijstroken smaller zouden worden, wordt dit onmogelijk.

Op drukke momenten wordt de maximale capaciteit van autosnelwegen bereikt of zelfs overschreden. Er wordt aangenomen dat de **capaciteit van rijstroken** die **uitsluitend** worden gebruikt door zelfrijdende voertuigen – door de kleinere tussenafstanden – tot 30 % kan stijgen. Zelfs zonder de snelheid te doen stijgen kan op die manier, als overgangsmaatregel naar een scenario van 100 % zelfrijdende voertuigen, de capaciteit van het beschikbare netwerk worden opgedreven (Vermaat et al., 2017; Wilmink, Calvert, de Kievit, Landen & Zlocki, 2017).

Ervaring met gereserveerde rijstroken voor elektrische voertuigen in Noorwegen, toonde echter aan dat deze rijstroken zeer snel verzadigd waren⁴³. In algemene zin kan een verhoogde capaciteit leiden tot een verhoogde vraag naar het gebruik van autonome voertuigen, ten nadele van andere vervoersmodi. Het is onduidelijk wat dat betekent voor de *modal split*.

⁴³ Er dient te worden opgemerkt dat Noorwegen verschillende maatregelen heeft geïmplementeerd om zijn wagenpark snel te elektrificeren.

In een scenario waarbij voertuigen met verschillende graad van automatisatie hetzelfde baanvak delen, is aanpassing van de bezetting niet aan de orde. In de praktijk blijkt trouwens dat de **afstand** tussen zelfrijdende voertuigen en niet zelfrijdende voertuigen (gemengd verkeer) hoger is dan de afstand tussen voertuigen met enkel menselijke bestuurders (menselijke bestuurders kijken verder dan enkel het eerstvolgende voertuig). Naarmate meer mensen gaan rekenen op voertuigtechnologie lijkt het dus dat bij ongewijzigde infrastructuur (of ongewijzigd gebruik van de bestaande infrastructuur) de vloedheid van het verkeer eerst nog verder zal afnemen.

Om spitsverkeer vlotter te laten verlopen, is het nu al mogelijk om (nieuwe) snelwegen in te richten met een wisselstrookregeling. Het gaat dan om een dynamische rijbaanindeling met een of meer rijstroken met veranderlijke rijrichting. Het kenbaar maken van een gewijzigde indeling kan gebeuren door middel van VMS-borden, eventueel aangevuld met verplaatsbare rijbaanafscheiding.

In een **futuristisch scenario** worden fysiek gescheiden **rijstroken misschien overbodig** en kan de beschikbare wegbreedte op een flexibele en dynamische manier ingedeeld worden in rijstroken als functie van het tijdstip, weersomstandigheden en het aanwezige verkeer (zogenaamde doelgroeprijstroken), mogelijk zelfs met verschillende snelheidsregimes. De rijstrooktoewijzing kan gebeuren via I2V-communicatie. Indien zelfrijdende vrachtwagens via automatisering geweerd worden van één of meerdere rijstroken, kunnen rijstroken op wegvakken met geen of heel beperkte interactie misschien wel smaller gemaakt worden. Op plaatsen waar er wel veel uitwisseling is (op- en afritten) is versmalling wellicht niet aangewezen.

De capaciteit van rijstroken die uitsluitend door zelfrijdende voertuigen worden gebruikt, zou tot 30 % kunnen stijgen door verlaging van de afstand tussen voertuigen. Samen met het toenemende gewicht van voertuigen betekent dit een hogere belasting van de wegstructuur. Bij de (her)aanleg van bruggen en kunstwerken kan het daarom zinvol zijn om rekening te houden met **hogere belastingen**.

Het is echter **moeilijk in te schatten** vanaf wanneer dit **zinvol** wordt. Het zal ongetwijfeld nog tientallen jaren zal duren vooraleer de volledige voertuigvloot zelfrijdend zal zijn en de breedte van rijstroken en de bezetting van de weg ook effectief kunnen worden aangepast. Infrastructuur die vandaag wordt aangelegd zal vermoedelijk vervangen dienen te worden nog voor er sprake is van een volledig zelfrijdende voertuigvloot.

Invoeg- en uitvoegstroken / weefstroken

De **dimensionering** van in- en uitvoegstroken, weefstroken en vergelijkbare parallelstructuren (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap [MVG], Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Team Veiligheid en Ontwerp, 2018) moet toelaten dat voertuigen kunnen in- of uitvoegen zonder al te grote snelheidsverschillen met het doorgaande verkeer en dat de capaciteit van de weg optimaal wordt benut (in het geval van weefstroken).

Bij gemengd verkeer bestaat de kans dat de interactie tussen geautomatiseerde en niet geautomatiseerde voertuigen wat minder vlot verloopt. Mogelijk moeten zulke uitwisselpunten daarom iets ruimer worden gedimensioneerd om vlot verkeer toe te laten (Morsink et al., 2016). Bij de (her)aanleg van infrastructuur kan hier worden op ingespeeld door al **ruimte te voorzien** om latere uitbreiding gemakkelijk mogelijk te maken.

Het valt anderzijds op dat op dit ogenblik nogal wat bestuurders lange **weefstroken** niet steeds gebruiken zoals bedoeld (weefstroken zijn bedoeld om al snel uit te voegen of pas op het einde van de weefstrook in te voegen). Bestuurders laten zich nogal eens verleiden om de file te verlaten via de weefstrook om dan de file in te halen en op het einde opnieuw in te voegen. De betekenis van de signalisatie van een weefstrook lijkt onvoldoende duidelijk of het correcte gebruik van dit wegvak is onvoldoende bekend.

Langere parallelstructuren (of de mogelijkheid deze te verlengen) lijken zinvol voor gemengd verkeer. Van zelfrijdende voertuigen kan worden aangenomen dat deze – mits correct geprogrammeerd – op een correcte manier gebruik zullen maken van deze extra ruimte. Menselijke bestuurders moeten echter worden aangespoord om deze extra ruimte correct te gebruiken.

Bij volledig zelfrijdend verkeer kan het in- en uitvoegen worden geautomatiseerd via communicatie tussen de betrokken voertuigen (Morsink et al., 2016). Het is belangrijk

om hiervoor voldoende ruimte te voorzien. Voor sommige afritten kan een verhoging van de capaciteit zinvol zijn. Zelfs als dat niet nodig is volgens de huidige aanbevelingen, lijkt het wel interessant om **voldoende ruimte te voorzien** om de capaciteit van parallelstructuren op een later tijdstip uit te breiden indien dit nodig zou blijken voor veilige uitwisseling van geautomatiseerd verkeer.

■ Pechstrook / pechhavens / interventiestrook

Standaard worden autosnelwegen voorzien van een pechstrook. **Pechstroken** laten toe om bij pech veilig te stoppen en de hinder voor het overige verkeer te beperken, maar zijn geen veilige plaats om te verblijven.

Op bepaalde wegvakken kan de pechstrook gedurende bepaalde tijdstippen worden omgevormd tot **spitsstrook**. In zulke gevallen dienen er op regelmatige afstanden pechhavens te worden voorzien. Het Vademecum Weginfrastructuur (Vlaanderen) raadt aan om pechstroken voldoende breed te maken om later ook alternatief gebruik toe te laten (MVG, AWW, Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Team Veiligheid en Ontwerp, 2018).

Een geautomatiseerd voertuig kan beslissen om te stoppen op de pechstrook of op een pechhaven als de inzittende bijvoorbeeld onwel wordt of niet in staat is de controle over het voertuig over te nemen als daarom wordt gevraagd. Op een pechstrook kan dit echter aanleiding geven tot gevaarlijke situaties als de inzittenden het voertuig niet meer kunnen verlaten. In die zin lijken **pechhavens** sowieso een betere oplossing dan een doorlopende pechstrook. De locatie van deze pechhavens dient gekend te zijn voor deze zelfrijdende voertuigen. Naargelang meer zelfrijdende voertuigen of voertuigen met *Driver Fatigue Monitor* (DFM) in het verkeer komen bestaat de kans dat het gebruik van deze pechhavens toeneemt en dat er moet worden overwogen om het aantal en de afmetingen van deze voorzieningen aan te passen (Transport Systems Catapult, 2017).

Voldoende pechhavens blijven anderzijds ook nodig voor interventies (onderhoud en incidentmanagement).

■ Dwarsprofiel

Het **klassieke dwarsprofiel** van een autosnelweg is twee verhardingen met telkens een aantal rijstroken, een scheiding door een middenberm en aan de buitenzijden een pechstrook met daarnaast een al of niet verharde berm. Op de middenberm zijn de twee rijrichtingen gescheiden door een afschermdende constructie. Als er in de berm aan de buitenzijde gevaarlijke obstakels staan, worden deze eveneens afgeschermd door doorgaans een metalen of betonnen afschermdende constructie.

Voor **gemengd verkeer** blijft dit de te **verkiezen oplossing**. In sommige gevallen (geen obstakels als lichtmasten of brugpijler in de middenberm) lijkt het dat een enkele afschermdende constructie in de middenberm voordelen biedt ten opzichte van een dubbelzijdig systeem. Door iets meer ruimte te voorzien tussen de rand van de rijstrook en de afschermdende constructie heeft een bestuurder meer kansen om afwijkend gedrag te corrigeren en daalt de kans op aanrijden van de afschermdende constructie licht.

Indien autosnelwegen **uitsluitend** worden gebruikt door zelfrijdende voertuigen (SAE L5), kan een aanpassing van het dwarsprofiel worden overwogen. De breedte van de

veiligheidszone, een belangrijk onderdeel van het concept vergevingsgezinde weg, zou bijvoorbeeld kunnen worden gereduceerd (Farah, 2016; Morsink et al., 2016).

Indien in een verre toekomst alle voertuigen zelfrijdend zijn, zullen *Lane keeping*-systemen garanderen dat deze voertuigen binnen hun rijstrook blijven. Rijstroken, zijbermen, veiligheidszones en de middenberm zouden in zulke gevallen smaller kunnen worden uitgevoerd of zelfs **overbodig** worden. Dat zou ertoe kunnen leiden dat er extra rijstroken beschikbaar worden binnen de aanwezige verharding (Farah, 2016; Transport Systems Catapult, 2017).

De aanbevelingen voor de aanleg van wegen zullen echter nog geruime tijd rekening moeten blijven houden met **menselijke bestuurders** en de **fouten** die deze maken. In een toekomst waar automatisering alsmear meer de taken van een menselijke bestuurder overneemt of diens fouten corrigeert, zal de wegomgeving misschien moeten worden aangepast afhankelijk van de betrouwbaarheid waarmee zelfrijdende wagens functioneren (ITF, 2018).

Vrachtwagenkonvoien

De transportsector promoot al enkele jaren *truck platooning*. Door vrachtwagens in een konvooi te laten rijden kan de uitstoot verlagen en kunnen goederen op een efficiëntere manier worden vervoerd ten opzichte van traditionele vrachtwagens. In een vrachtwagenkonvooi heeft de **leidende vrachtwagen** een menselijke bestuurder. Als de volgende voertuigen (deels) geautomatiseerd zijn, communiceren deze met het leidende voertuig en reageren automatisch op de signalen die het leidende voertuig uitstuurt. De snelheid waarmee deze automatische systemen reageren ligt hoger dan een menselijke bestuurder (Paulsen, 2018).

Een vrachtwagenkonvooi van twee of drie voertuigen neemt heel wat meer plaats in dan een individuele vrachtwagen. Een vrachtwagenkonvooi veroorzaakt ook hogere belastingen op de wegstructuur en op bruggen. Tijdens **proefprojecten** bleek bovendien dat de lengte van zulke vrachtwagenkonvoien moeilijkheden veroorzaken bij in- en uitvoegen en inhalen. Als een vrachtwagenkonvooi van baanvak wisselt of een bocht moet nemen, kunnen andere weggebruikers dit als hinderlijk ervaren door de tijdelijke beperking van het overzicht op het andere verkeer. Het speelt daarbij geen rol of het konvooi (voor een deel) bestaat uit geautomatiseerde voertuigen (Paulsen, 2018).

Truck platooning is onder meer door de extra inname van ruimte ten opzichte van een individueel voertuig, enkel mogelijk op **te selecteren trajecten**. In sommige landen wordt overwogen om bepaalde infrastructuur in te richten voor uitsluitend gebruik door vrachtverkeer en vrachtwagenkonvoien (Ohern, 2016).

Door vrachtwagenkonvoien ook te automatiseren kan de vereiste ruimte enigszins worden beperkt waardoor meer trajecten in aanmerking komen voor *truck platooning*.

De hogere reactiesnelheid die wordt toegeschreven aan geautomatiseerde voertuigen, geldt eveneens voor zelfrijdende vrachtwagenkonvoien. Als ook andere veiligheidsmarges (snelheid) worden geoptimaliseerd, kan de ruimte die vrachtwagenkonvoien innemen op de weg enigszins worden beperkt. Voor bestaande wegen kan automatisatie van vrachtwagenkonvoien de toepassing iets verruimen. Bij de aanleg van nieuwe wegen die enkel toegankelijk zijn voor zelfrijdende voertuigen (inclusief vrachtwagenkonvoien) kunnen de eisen voor het geometrisch verloop versoepelen en kan de weg beter aansluiten op het verloop van het terrein (Paulsen, 2018).

3.2.2 Invloed AV op wegoopbouw

Bezetting / wegstructuur

Wanneer alle voertuigen zelfrijdend zijn kan de **capaciteit** van de bestaande infrastructuur allicht worden opgedreven door voertuigen dichter op elkaar te laten rijden en de breedte van rijstroken te verkleinen. Alleen al door de verlaging van de afstand tussen voertuigen, zou een capaciteitswinst tot 30 % mogelijk zijn.

De stijgende mobiliteitsvraag en de daardoor verwachte toename van het verkeer zal gedeeltelijk toe te schrijven zijn aan individueel vervoer en gedeeltelijk aan collectief vervoer en vrachtverkeer.

De invloed van de elektrificatie van voertuigen op de **massa** lijkt in twee richtingen te gaan. Enerzijds vereisen elektrische voertuigen met een grote actieradius extra batterijcapaciteit waardoor deze wagens doorgaans zwaarder zijn dan vergelijkbare modellen met een verbrandingsmotor. Anderzijds worden er ook elektrische wagens ontwikkeld met een beperkt bereik (bv. enkel voor stadsverkeer of woon-werkverkeer over een beperkte afstand). Voor het beperkte bereik volstaat een batterij met een lager vermogen (en lager gewicht). Zulke voertuigen kunnen daardoor lichter worden uitgevoerd.

In de praktijk blijkt dat het **gewicht van voertuigen** op dit ogenblik vooral toeneemt⁴⁴.

Al deze evoluties doen vermoeden dat wegen in de toekomst **zwaarder zullen worden belast**. Door het grotere aantal voertuigen (personenwagens en vrachtwagens) zullen de gevolgen van het niet beschikbaar zijn van een weg(vak) bovendien alleen maar groter worden. Duurzame wegen (in de betekenis van voldoende levensduur) en een hoge beschikbaarheid winnen daardoor nog aan belang (Paulsen, 2018).

In de **overgangssituatie** lijkt het echter waarschijnlijk dat de capaciteit van een weg iets zal verlagen om geen onveilige situaties te veroorzaken. De hoge reactiesnelheid van autonome voertuigen vereist voor de niet autonome voertuigen een grotere tussenafstand om toch nog tijdig te kunnen stoppen als dat nodig zou zijn. In die zin lijkt het niet meteen nodig om wegstructuren drastisch te wijzigen. De wegen die vandaag worden aangelegd, moeten echter ook kunnen dienen als er in de niet zo verre toekomst rijstroken worden gereserveerd voor zelfrijdende voertuigen die bijvoorbeeld rijden met kleinere tussenafstanden (*High occupancy toll lanes* (Farah, 2016)). Initiatieven die de **duurzaamheid van wegen** verhogen en/of technieken die **snelle reparatie** toelaten lijken daarom nu reeds zinvol voor niet geautomatiseerd verkeer. Naargelang het aandeel autonome voertuigen toeneemt, wordt dit nog relevanter.

Ook bij de **bouw of renovatie van bruggen** kan best worden onderzocht of de structuur in staat is om in de toekomst eventueel hogere verkeersbelastingen toch op een veilige manier op te vangen.

Kwaliteit van het wegdek

De kwaliteit van het wegdek blijft een belangrijk aandachtspunt.

Geconnecteerde voertuigen kunnen voor wegbeheerders een interessante gegevensbron zijn om een accurater beeld te krijgen over de staat van het wegdek en om reparaties en onderhoud efficiënter te plannen⁴⁵.

44

§ 2.2.6 Energie-efficiëntie & milieuvriendelijkheid.

45

§ 2.1.1 Geconnecteerd, autonoom en § 3.3.7 Digitale infrastructuur en diensten.

Er dient te worden vermeden dat kleine onregelmatigheden in het wegdek leiden tot **foutieve detecties** door zelfrijdende voertuigen of rijondersteunende systemen (bv. foutieve detectie van een langsvoeg als markering) met onverwacht gedrag als gevolg. Het lijkt aannemelijk dat de kenmerken van zelfrijdende voertuigen zullen leiden tot andere eisen voor de wegdekkwaliteit (Morsink et al., 2016).

Het blijft nodig om, onafhankelijk van de ontwikkelingen op het vlak van autonoom vervoer, in te zetten op wegoppervlakken die voldoen aan **minimale vereisten**. Daarbij zal er steeds een evenwicht moeten gezocht worden tussen rijcomfort, veiligheid, brandstofverbruik, rolgeluid, enz. Het is zinvol om bij uitvoering en onderhoud extra aandacht te hebben voor deze oppervlakkenmerken en in te zetten op technieken die een duurzame wegdekkwaliteit nastreven. Het lijkt vooralsnog belangrijker dat de huidige eisen voor oppervlakkenmerken effectief worden behaald (en dat een weg hieraan blijft voldoen) dan deze huidige eisen te verstrengen.

Sensoren in de wegstructuur

Behalve intelligente voertuigen en digitale infrastructuur, kunnen ook **sensoren** nuttige informatie opleveren voor wegbeheerders en een bijdrage leveren aan een beter en veiliger gebruik van de weg. Sensoren kunnen informatie opslaan en doorgeven over het verkeersvolume, over niet zichtbare obstakels op of langs de weg of zelfs dienen als alternatief geleidingssysteem voor voertuigen (Clapaud, 2017) of **om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van positionering** op basis van GNSS-systemen (GPS, Galileo, enz.) te verhogen⁴⁶. Het is dan echter cruciaal dat deze sensoren een autonomie hebben die vergelijkbaar is met de levensduur van de wegstructuur waarin ze worden verwerkt (Clapaud, 2017).

46
Alternatieve technieken voor positionering van zelfrijdende voertuigen. Zie Voronov, Hultén, Wedlin & Englund (2016).

3.2.3 Weguitrusting

Zichtbaarheid en harmonisering wegmarkeringen en verkeersborden

Wegmarkeringen en verkeersborden zijn vandaag de **standaardmanier** om weggebruikers duidelijk te maken waar ze mogen rijden en welk rijgedrag van hen wordt verwacht. Vandaag zijn er echter ook al voertuigen op de markt die uitgerust zijn met **technologie** om de boodschappen die deze markeringen en verkeersborden geven te herkennen en ofwel door te geven aan de bestuurder ofwel het gedrag van het voertuig aan te sturen (bv. LKA).

Een (blijvend) en in alle weersomstandigheden goed zichtbare **markering** is dus belangrijk voor zowel menselijke bestuurders als voor het goed functioneren van de huidige generatie van rijtaakondersteunende systemen. Behalve voldoende zichtbaar is het echter ook van belang dat bestaande markeringen éénvormig zijn en eenzelfde betekenis hebben.

Specifiek voor detectiesystemen is een voldoende **contrast** tussen de markering en het wegdek belangrijk voor de herkenbaarheid van de markering (Somers, 2019d). Het belang van goed zichtbare markeringen voor detectiesystemen is onderhevig aan evolutie. Nieuwe camera's en beeldverwerkingstechnieken stellen alsminder hoge eisen aan de markeringen.

Voor **verkeersborden** geldt evenzeer dat een goede zichtbaarheid en harmonisering belangrijk zijn. De verschillen tussen verschillende landen en regio's worden bovendien

best beperkt. Bij verkeersborden wordt er al eens aanvullende informatie gegeven door middel van tekst (zogenaamde onderborden). Voor de huidige generatie voertuigsensoren is het niet vanzelfsprekend om al de verschillende mogelijkheden correct te herkennen en te interpreteren. Dit zal allicht veel eenvoudiger worden als er een digitale voorstelling bestaat van de fysieke infrastructuur en geldende verkeersregels of als er communicatie bestaat tussen verkeersborden en voertuigen.

De zichtbaarheid en herkenbaarheid van signalisatie dienen voldoende te zijn om bepaalde functies in zelfrijdende voertuigen te ondersteunen. Anderzijds kunnen **detectiesystemen in geconnecteerde zelfrijdende voertuigen** echter ook potentieel registreren en doorgeven op welke locaties deze zichtbaarheid en herkenbaarheid onvoldoende is. Op die manier kan efficiënter worden gedetecteerd waar onderhoud het meest noodzakelijk is. Zowel zelfrijdende voertuigen als menselijke bestuurders zullen gebaat zijn bij zulke win-winsituatie. Een voorwaarde voor een dergelijk systeem is uiteraard om tot akkoorden te komen over de uitwisseling van de gegevens.

Op lange termijn, als alle voertuigen volledig geautomatiseerd zijn en alle informatie die voertuigen nodig hebben voor hun rijtaak beschikbaar is via digitale infrastructuur, kan het **belang van verkeersborden** voor geautomatiseerde verkeersdeelnemers afnemen. Al de informatie die nu via verkeersborden wordt gegeven aan menselijke bestuurders (snelheidsbeperkingen, voorangsregels enz.) kan dan worden opgeslagen in databases en via digitale systemen beschikbaar worden gesteld aan zelfrijdende voertuigen. Op die manier kunnen de langs een bepaald wegvak geldende verkeersregels veel **dynamischer** worden (bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, bij ongevallen of in het geval van slechte weersomstandigheden). Langsheen wegen die ook worden gebruikt door niet geautomatiseerde weggebruikers (fietsers, voetgangers), blijft signalisatie allicht nog lang de beste manier om deze gebruikers te informeren over het gedrag dat van hen wordt verwacht.

■ Afschermdende constructies

Afschermdende constructies moeten in staat zijn de **omgeving te beschermen** tegen het onbedoeld indringen van voertuigen die van de weg geraken. Tegelijkertijd dienen de gevolgen van zulke aanrijdingen voor de **inzittenden** van het aanrijdende voertuig beperkt te blijven. Beide aspecten worden geëvalueerd volgens bestaande Europese proefmethoden.

Voertuigen lijken allesbehalve lichter te worden. Elektrische voertuigen zijn zwaarder dan hetzelfde model met verbrandingsmotor. Ook als er in de toekomst meer wordt ingezet op collectief vervoer lijkt het erop dat de massa van voertuigen niet zal dalen. Nieuwe ontwikkelingen op het vlak van afschermdende constructies houden best rekening met deze trend.

Zeker zolang er nog menselijke bestuurders zijn, blijven afschermdende constructies een belangrijk middel om de gevolgen van ongevallen te beperken, zowel voor de inzittenden van het voertuig als voor de omgeving. Als zelfrijdende voertuigen correct functioneren zouden zogenaamde **enkelvoudige ongevallen** tot het verleden moeten gaan behoren. Afschermdende constructies worden in zulke gevallen wellicht overbodig of worden voorbehouden voor locaties met heel hoge risico's of langs wegen die nog niet zijn aangepast voor geautomatiseerd rijden. In die gevallen dienen deze installaties wel mee te **evoluëren** met het voertuigenpark. Anderzijds kunnen afschermdende constructies – als alternatief voor wegmarkeringen – ook worden gebruikt voor geleiding van het verkeer (Morsink et al., 2016).

Variable Message Signs (VMS)

Variabele verkeersborden worden almaar meer gebruikt om boodschappen door te geven aan bestuurders en om verkeer te sturen. Vooral nog worden deze boodschappen geïnterpreteerd door voornamelijk menselijke bestuurders. Naargelang meer voertuigen uitgerust worden met sensoren wordt het belangrijk dat deze **sensoren**, naast de klassieke statische borden, ook in staat zijn de boodschappen van deze variabele borden te herkennen.

De huidige generatie camera's blijkt minder goed overweg te kunnen met zogenaamde *scanned LED arrays* (Vantomme, 2019). *Pulsed LED arrays* of **VMS** die kunnen worden uitgerust met communicatietechnologie bieden daarom meer zekerheid voor de toekomst.

Net als voor verkeersborden en markeringen zal de **rol van variabele verkeersborden** op de lange termijn vermoedelijk dalen. Informatie die een voertuig nodig heeft voor het uitvoeren van zijn rijtaak kan dan worden doorgegeven via digitale systemen.

3.3 Wegen in stedelijke omgeving

In een stedelijke omgeving is de uitdaging voor autonome voertuigen van een andere en veelal **complexere aard dan op autosnelwegen**.

De situatie in een relatief homogene omgeving als een **autosnelweg**, met enkel interactie tussen voertuigen, is bijzonder. De maximaal toegelaten snelheid is hoog, maar de snelheidsverschillen tussen voertuigen blijven beperkt. De meeste kruisingen zijn ongelijkvloerse kruisingen en er zijn meerdere rijstroken naast elkaar gelegen. Het is in deze omgeving dat de richtlijnen voor infrastructuurontwerp kunnen evolueren als functie van het aandeel autonome voertuigen met een hoog SAE-level.

In **stedelijke omgeving** hebben we te maken met niet homogene wegenis en een zeer divers gebruik.

3.3.1 Uitdaging in stedelijke context

Aan de positieve kant voor autonome voertuigen kunnen we **snelheid** en de **bebouwing** noteren.

- Stedelijke snelheidslimieten zijn lager, waardoor de stopafstand korter is.
- Een autonoom voertuig heeft, ten opzichte van een voertuig met een bestuurder, het voordeel dat de vorm en de structuur van de bebouwing naast de weg een beperkte rol spelen bij het uitvoeren van de rijtaak. Een bestuurder ondergaat continu visuele indrukken en wordt ook afgeleid door objecten of gebeurtenissen langs de weg die niet relevant zijn voor de rijtaak. De aandacht van autonome voertuigen is enkel gericht op het uitvoeren van de rijtaak. Bovendien kan een zelfrijdend voertuig rekening houden met nog niet zichtbare gebeurtenissen of situaties, aan de hand van gecommuniceerde gegevens. Op basis van die informatie kan een autonoom voertuig verkeersveilige beslissingen nemen, bijvoorbeeld door het traject aan te passen of door zijn snelheid aan te passen.

De grotere complexiteit van de situatie in stedelijke context ten opzichte van auto-snelwegen heeft te maken met de **niet homogene wegenis** (ten opzichte van auto-snelwegen) en het gebruik ervan.

- Mensen gebruiken de wegenis voor **uiteenlopende verplaatsingen** met **allerhande voertuigen**: te voet, fiets, bromfiets, auto, motor, vrachtwagen en sinds enige tijd ook diverse typen van micromobiliteit. In een stedelijke omgeving is een belangrijk deel van de weggebruikers vooralsnog niet geconnecteerd met het vervoersnetwerk. Zelfrijdende voertuigen dienen in de eerste plaats zelf in staat te zijn deze gebruikers correct te detecteren.
- Er is een grote hoeveelheid en **verscheidenheid aan objecten** die al dan niet bij de wegenis horen (palen voor verkeersborden, verlichtingspalen, snelheidscamera's, hekken, fietsenstallingen, elektriciteitsmasten, reclamepanelen, straatmeubilair, snelheidsremmers, enz.) Een **correcte digitale weergave** van de locatie en de relevante fysische kenmerken kan belangrijk zijn voor het maken van keuzes door het zelfrijdend voertuig. In het geval van installaties langs wegen waar hogere snelheden zijn toegelaten kan het bijvoorbeeld interessant zijn om over informatie te beschikken over de botsvriendelijkheid van de installatie. AV kunnen deze informatie dan gebruiken om het risico bij aanrijding in te schatten.
- Er dient **onderscheid** te worden gemaakt tussen voertuigen die overal moeten kunnen rijden (de geautomatiseerde wagen) en voertuigen die op een vooraf bepaald traject rijden (shuttles). De shuttles onderscheiden zich doordat de trajecten in kaart worden gecodeerd⁴⁷.

47

§ 3.4 Shuttles.



Figuur 3.1 – Uiteenlopende verplaatsingen (Gabriel12, s.d.)

3.3.2 Rollen en belangen

De betrokken partijen hebben allen belangen, die op elkaar moeten worden **afgestemd** om ervoor te zorgen dat autonome voertuigen een positieve bijdrage kunnen leveren aan de uitdagingen waar steden voor staan (inclusiviteit, milieuaspecten, veiligheid, bereikbaarheid, leefbaarheid, enz.).

Voor **autoconstructeurs** blijft het van belang om winstgevend te zijn. Naast de traditionele verkoop van voertuigen komt daar meer en meer een scala aan dienstverlening bij, zoals het aanbieden van een mobiliteitspakket en het onderhouden van een vloot voertuigen. De voertuigen moeten voldoen aan vereisten van veiligheid en milieu (uitstoot, geluid).

Openbaarvervoerbedrijven bieden alternatieve vervoerswijzen aan om te voorzien in de vraag naar verplaatsingen. De gebruikte voertuigen (bussen, trams of metro's) en de

toekomstige voertuigen (shuttles en robottaxi-achtig vervoer) moeten veilig, proper en toegankelijk zijn.

Het belang van de **beheerders van de openbare ruimte**, de steden en gemeenten, ligt erin om op te komen voor de belangen van de burgers, voor wat betreft zaken als bereikbaarheid, leefbaarheid, toegankelijkheid en verkeersveiligheid.

Sommige experts verwachten dat het ondoordacht invoeren van zelfrijdende voertuigen in een stedelijke omgeving een eerder negatief effect kan hebben op de **leefbaarheid** van een stad. Ze menen dat een ondoordachte invoering van zelfrijdende voertuigen het verkeer zal doen toenemen (onder meer door verschuiving van openbaar vervoer naar geautomatiseerde vervoersdiensten, rondrijden van 'lege' voertuigen – *zombie cars*, meer afgelegde kilometers door toename gedeeld transport, enz.) (Smolnicki, 2017)⁴⁸. Het is daarom belangrijk om de invoering van zelfrijdende wagens als een **opportunititeit** te zien voor het herdenken van de stedelijke mobiliteit.

⁴⁸ Zie ook, in verband met latente vervoersvraag, § 2.2.3 Congestie.

Autonome mobiliteit lijkt een mes dat aan twee kanten snijdt. Enerzijds bestaat een grote kans dat transport veiliger en toegankelijker zal worden. Anderzijds kan de invoering van autonome mobiliteit zonder gepaste omkadering ook een aantal neveneffecten hebben (verschuiving van openbaar vervoer naar individuele transportdiensten, mobiliteitsproblemen, enz.) (Smolnicki, 2017).

De diverse belangen spelen een rol bij de wijze waarop autonome voertuigen ingang zullen vinden in de maatschappij. In het bijzonder in steden is de ontwikkeling van autonome voertuigen slechts een van de ontwikkelingen op het vlak van mobiliteit waarmee rekening moet worden gehouden. **Andere ontwikkelingen** leiden, samen met de technologieën voor autonome mobiliteit, tot grote veranderingen in de stedelijke mobiliteit. Een aantal belangrijke veranderingen zijn, in willekeurige volgorde:

- de opkomende micromobiliteit;
- de deelsystemen;
- de vergroening van transport;
- de aanpassing van snelheidslimieten;
- de digitale infrastructuur;
- inzet op trage mobiliteit en toegankelijkheid;
- diversificatie van openbaar vervoerdiensten;
- levering van goederen.

3.3.3 Opkomende micromobiliteit

Naast de traditionele fiets, bromfiets en te voet gaan, zijn er zeer veel verplaatsingsvormen op de markt of in ontwikkeling. Deze vervoersmiddelen, zoals steps en monowielen, worden 'micromobiliteit' genoemd. Een belangrijk aspect dat speelt is de **plaats** van de micromobiliteit **op de weg**. Het gaat om vragen als 'waar ze mogen worden gebruikt', 'waar ze mogen worden achtergelaten', en 'hoe ze worden opgeladen'. De overheid moet hierin keuzes maken op regelgevend vlak. Concreet:

- Micromobiliteit toelaten op voetpaden, fietspaden, busbanen? (Transportation for America [T4America], 2018).
- Parkeren overall toestaan, zones afbakenen of nieuwe typen parkeerplaatsen voorzien?
- Als het gaat om een deelsysteem van elektrische voertuigen (e-steps en dergelijke), welke opties kiezen voor het opladen?

- Zullen de nieuwe vervoersmiddelen geconnecteerd zijn en herkend kunnen worden (interessant omwille van het beheer maar ook voor de ontwikkeling en de veiligheid van AV)?

De verschillende vormen van parkeren hebben elk voordelen en nadelen (T4America, 2018). Steden kiezen er steeds vaker voor om over te gaan tot **restricties voor het parkeren**. Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bijvoorbeeld, ging eerst over tot het afbakenen van zones waar het verboden is om deelsteps achter te laten, en testte vervolgens specifieke parkeerplaatsen voor deelsteps uit ("Specifieke parkeerplaatsen", 2019).

Het toenemend gebruik van micromobiliteit vergroot het aantal types weggebruiker dat een AV moet kunnen **detecteren**. Gebruikers van micromobiliteit zijn ongeveer even groot als een voetganger of fietser, maar verplaatsen zich doorgaans snel. Autonome voertuigen moeten in elk geval het gedrag van micromobiliteitsgebruikers juist kunnen analyseren en inschatten. Veel van de nieuwe transportmiddelen kunnen worden geconnecteerd. Echter, vooralsnog zijn niet alle vormen van micromobiliteit detecteerbaar. Het vergt verdere ontwikkeling voordat AV onder alle omstandigheden alle vormen van micromobiliteit kunnen detecteren en het gedrag kunnen inschatten. Een zelfrijdend voertuig van het niveau SAE L3 kan bij onvoorspelbaarheid de verantwoordelijkheid overdragen aan de bestuurder. Bij de niveaus SAE L4 en L5 is die overdracht niet meer de bedoeling.

Voor wat betreft **weginfrastructuur** spelen voor micromobiliteit naast de gebruiksplaats (verplaatsing, parkeren, laden) ook nog andere belangen. Het **wegoppervlak** moet voldoende kwalitatief zijn, en het aantal hindernissen waarmee ze te maken krijgen moet beperkt zijn. Dit draagt bij aan de voorspelbaarheid van het gedrag van micromobiele weggebruikers, wat van belang is voor autonome voertuigen.

De **snelheid** van steps en monowielen vormt voor voetgangers, fietsers, rolstoelgebruikers, enz. een belangrijke uitdaging. Allicht kan het zinvol zijn om voor deze transportmiddelen ook een soort van ISA te overwegen afhankelijk van het gebruik in bepaalde omgevingen (voetgangersgebied, zone 30, fietsstraten, gedeeld ruimtegebruik, enz.).

3.3.4 De deelsystemen

In steden is er een **theoretisch potentieel** voor het delen van voertuigen. Simulaties tonen aan dat deelauto's meerdere private personenauto's zouden kunnen vervangen, wat tot minder ruimte-inname zou leiden. Het geschatte aantal vervangen personenauto's door een deelauto varieert van 2,5 tot 13, maar de studies hebben beperkingen die tot een overschatting leiden (bv. ze richten zich op *early adopters*) (Liao, Molin, Timmermans & van Wee, 2020).

Deelsystemen hebben ook potentie om de **modal split** positief te beïnvloeden en bij te dragen aan een milieuvriendelijker verplaatsingsgedrag. Gebruikers van deelauto's zijn immers frequenter multimodale gebruikers (ov, fiets, te voet, micromobiliteit) dan individuele autobezitters. Daar staat tegenover dat tal van bevolkingsgroepen (jongeren, ouderen, personen met een handicap, personen zonder rijbewijs, enz.) niet zelfstandig kunnen of mogen gebruik maken van voertuigen van niveau SAE L0 tot en met L3, wat ze wel zouden kunnen met autonome voertuigen van SAE L4 en L5. Dit kan een bijdrage leveren aan een meer **inclusieve samenleving**.

Er is echter ook een keerzijde van de medaille: met de invoering van AV zonder daarbij ook in te zetten op alternatieven voor individueel vervoer, bestaat het risico dat de *modal split* ongunstig wordt beïnvloed. Met als mogelijk gevolg het (verder) **dichtslibben van de steden**.

Voor een duurzame stedelijke mobiliteit gaat de toekomst van autonome voertuigen ongetwijfeld **hand in hand** met *modal split*-beleid. Voor een dergelijk beleid zijn verscheidene **opties** voor handen: deelsystemen, MaaS, openbaar vervoer, milieuzones, betalen voor gebruik van weginfrastructuur, beperkingen van de toegang tot bepaalde zones in steden, enz.

MaaS en deelsystemen waarbij ook wordt ingezet op **zelfrijdende voertuigen** (robot-taxi's) lijken een groot potentieel te hebben. Volgens de zogenaamde Oslo-studie (COWI & PTV Group, 2019):

- zou 7 % van de actuele voertuigenvloot volstaan als alle gebruikers van privaat vervoer zouden overstappen naar (zelfrijdende) voertuigen met gedeelde rit (**ride sharing**);
- onder diezelfde voorwaarde zou het aantal gereden voertuigkilometers bovendien 14 % dalen;
- indien enkel het voertuig en niet de rit zou worden gedeeld (**ride hailing**) zou 9 % van de voertuigvloot volstaan maar zou het aantal afgelegde voertuigkilometers wel met 26 % stijgen;
- Als ook de gebruikers van openbaar vervoer enkel nog gebruik zouden maken van *ride sharing*-diensten zou 16 % van de actuele voertuigenvloot volstaan en zouden bovendien alle trams en bussen kunnen verdwijnen. Afschaffen van openbaar vervoer leidt vanzelfsprekend tot een sterke stijging van de afgelegde voertuigkilometers.

Een studie voor Lissabon (ITF, 2015) geeft gelijkaardige resultaten. In beide studies worden bovendien ook eisen gesteld aan de kwaliteit van de dienstverlening; de maximale wachttijd (tijd tussen oproep voertuig en effectieve beschikbaarheid) en de maximale vertraging (onder andere omwille van het oppikken van andere gebruikers) worden beperkt tot aanvaardbare niveaus.

	BASE	1A	1B	2A	2B	3A		3B	3
	PRIVATE CARS 2020	FROM PRIVATE CAR TO CAR SHARING	FROM PRIVATE CAR TO SHARED TAXI	FROM PRIVATE CAR, BUS AND TRAM TO CAR SHARING	FROM PRIVATE CAR, BUS AND TRAM TO SHARED TAXI	FROM BUS AND TRAM TO TAXIBUS		FROM TRAM AND BUS TO TAXIBUS	
						FROM PRIVATE CAR TO CAR SHARING	FROM PRIVATE CAR TO SHARED TAXI		
VEHICLE KILOMETERS – IN SERVICE (MILLION)	4.4	4.0	3.1	6.1	4.6	5.5	4.7	1.5	
VEHICLE KILOMETERS – EMPTY VEHICLE (MILLION)	0	1.5	0.6	2.4	1.1	1.7	0.9	0.2	
VEHICLE KM. (MILLION)	4.4	5.5	3.7	8.6	5.7	7.3	5.5	1.8	
VEHICLE KILOMETERS SHARE – IN SERVICE	100%	73%	83%	72%	81%	76%	84%	86%	
VEHICLE KILOMETERS SHARE – EMPTY VEHICLE	0%	27%	17%	28%	19%	24%	16%	14%	

Tabel 3.1 – KPI for fleet size and vehicle kilometres in MaaS system, Oslo study, PTV Group, April 2019 (COWI & PTV Group, 2019)

Op het vlak van **weginfrastructuur** vragen de deelsystemen om aangename en veilige parkeergelegenheid, *drop-off* en *pick-up* zones (zogenaamde PUDO's⁴⁹). Zulke mobiliteitshubs kunnen enkel succesvol worden als gebruikers of aanbieders van deelsystemen zich er veilig voelen en hun voertuigen kunnen achterlaten zonder schrik dat deze worden gevandaliseerd. In de tweede helft van 2019 werd er bijvoorbeeld nog voor gekozen om JUMP-deelfietsen wegens vandalisme weg te halen uit enkele Brusselse gemeenten (Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2019).

49

PUDO: zones for picking up and dropping off passengers (COWI & PTV Group, 2019).

Deelvoertuigen van **floating sharing services** mogen parkeren op reglementaire parkeerplaatsen waar particuliere personenwagens ook mogen parkeren. In geval van **station based carsharing** moeten toegewezen parkeerplaatsen worden voorzien (zie verder bij 'vergroening van voertuigen').

Deelsystemen (wagens, fietsen) hebben een grotere kans op succes als ze gemakkelijk **bereikbaar** zijn (op korte afstand van vertrek of eenvoudig bereikbaar via openbaar vervoer). Hier is een rol voor overheden weggelegd, die in onderhandeling gaan met aanbieders van georganiseerde deelsystemen vooraleer de dienst in het bepaalde gebied wordt uitgerold. Om deelsystemen vlot te laten aansluiten op andere deelsystemen of andere transportmodi dient te worden geïnvesteerd in aangepaste infrastructuur. Een uitdaging voor wat betreft regulering is het omgaan met het in populariteit stijgende **particuliere autodelen** (een groep individuen/huishoudens die op systematische basis een auto in gemeenschappelijk bezit gebruiken).

Herinrichtingen van wegen met minder plaats voor voertuigen en meer plaats voor alternatieven (ov, fiets, te voet gaan en micromobiliteit) kunnen een optie zijn afhankelijk van de *modal split*, bereikbaarheid en leefbaarheid. De penetratiegraad van autonome voertuigen, al dan niet als deelsysteem, heeft daar invloed op. Voor een stad die voor deze uitdaging staat en die inzicht wenst in de effecten, lijkt het cruciaal om een toekomstvisie en **scenario's** te ontwikkelen en doorberekeningen te doen via een model.

3.3.5 Vergroening van transport

De **milieueisen** voor voertuigen worden steeds strenger. Steden hebben de optie om een LEZ (lage-emissiezone) in te richten.

Sommige steden (Parijs, Brussel, enz.) spraken zich al uit voor het **verbieden van voertuigen met verbrandingsmotoren**.

Zo heeft de **Brusselse** regering recent het gewestelijke klimaatplan goedgekeurd, met het engagement om toegangscriteria te versterken en het verbod op dieselveertuigen in 2030 in te voeren en dat van benzine- en lpg-voertuigen in 2035. Bovendien opteert men voor een uitbreiding van het toepassingsgebied (integratie in de LEZ van motorfietsen), en men denkt na over de realisatie van 'zero-emissiezones' (ZEZ) in de Brusselse Vijfhoek of in bepaalde gebieden, bijvoorbeeld in de handelsknooppunten. Aan deze ZEZ zouden strengere toegangscriteria worden gekoppeld in vergelijking met de LEZ (Redactie e-Drivers, 2019).

In **Rotterdam** wordt overgegaan op positieve en preventieve maatregelen. De doelstelling van de LEZ werd in enkele jaren tijd bereikt. De stad stapt over op nieuwe maatregelen, zoals afspraken met bedrijven in de binnenstad om bevoorrading enkel met elektrische voertuigen te doen, meer ruimte voor zwakke weggebruikers, openbaar vervoer, deelfervoer en schonere vervoersmodi ("Waarom Rotterdam", 2019).

Voor sommige organisaties gaan de LEZ niet ver genoeg. Ze pleiten voor een ZEZ (**zero-emissiezone**) (Transport & Environment (TE), 2019).

Voor andere organisaties gaan de LEZ juist net te ver, en bestaat er **twijfel over de effectiviteit** van een LEZ (BV, 2020). In **Stuttgart** werd tijdens de COVID-19 lockdown (voorjaar 2020) beslist om op basis van nieuwe inzichten over het verband tussen luchtmetingen en het gebruik van oudere dieselloze voertuigen het fijnstofalarm af te schaffen. Dit werd gedaan op basis van gegevens die verzameld werden in de bijzonder verkeersluwe periode sinds de lockdown.

Om milieudoelstellingen te halen is het nuttig om het gebruik van schone voertuigen te **stimuleren**. Voor een wijdverbreid gebruik en aanschaf van de schone voertuigen die op elektriciteit of waterstof rijden zijn er nog meerdere stappen te zetten. Zo moet onder meer de aanschafprijs lager worden en moet er meer duidelijkheid komen over de prestaties van deze voertuigen (onder andere de onzekerheid over het bereik van elektrische voertuigen). Tevens moet de **laad- en vulinfrastructuur** (electriciteit, waterstof, CNG, enz.) nog een grote ontwikkeling ondergaan. Het is belangrijk dat gebruikers op een vlotte manier hun voertuigen kunnen voorzien van de vooralsnog onmisbare energiebron⁵⁰. Potentieel geïnteresseerden mogen niet worden afgeschrikt door de dreiging van wijzigende gebruiksvoorwaarden⁵¹. Steden en overheden kunnen ervoor kiezen om het **beleid** ten aanzien van deelsystemen, autonome voertuigen en schone voertuigen op elkaar **af te stemmen**.

Voor wat betreft de fysieke **infrastructuur** vereisen sommige typen schone voertuigen uiteraard laad- en vulinfrastructuur, maar ook parkeren is een issue. **Parkeergelegenheid** blijft nodig, ook voor AV. In een 24-uurseconomie zijn er immers grote schommelingen in de vervoersvraag. Het is weinig zinvol om, bijvoorbeeld 's nachts, een groot deel van de voertuigen doelloos rond te laten rijden. Ook is het zo dat er, voor een efficiënte bediening door autonome voertuigen tijdens de piekuren, een grote vloot nodig is. Het **doelloos rondrijden** (*zombie cars*) draagt onnodig bij aan congestie en energieverbruik (ongeacht of dit in dal- of piekuren is). Ten aanzien van parkeren is er op enkele **essentiële vragen** nog geen helder antwoord:

- Waar in de stad (of daarbuiten) moet je parkeerplaatsen voor AV voorzien?
- Vanaf welk laadniveau moet een elektrische autonome deelwagen zich opladen, of nog rondrijden voor een rit die nog uitvoerbaar is?
- Hoe verhouden de kosten van parkeren zich ten opzichte van de kosten van rijden?

Voor wat betreft het laden van individuele elektrische voertuigen kan het gaan om **particulier laden** en om **publiek laden**. Laadmogelijkheden bij particulieren moeten zorgvuldig worden gekozen. Kabels die van de elektrische auto naar een gevel over een trottoir worden gelegd, zijn problematisch voor vooral voetgangers en personen met een beperkte mobiliteit (PMB)⁵². Bij **inductief laden** (ook draadloos laden genoemd) kan een elektrische auto worden geladen zonder tussenkomst van kabels of een laadpunt. In de praktijk wordt geparkeerd boven een grondplaat. Het is belangrijk dat de afstand tussen de bekabeling onder het oppervlak en het element dat de elektriciteit capteert beperkt is. Bij grotere afstanden neemt de overdracht van energie snel af.

Een inductieplaat heeft de beperktere nodige ruimte als voordeel ten opzichte van laadpalen. Andere **voordelen**: minder gevoelig voor vandalisme, en gebruikersgemak. Er zijn echter ook **nadelen** aan inductieladen: de hogere investeringskost vanwege de complexere installatie, het ontbreken van standaarden en het vermogensverlies (Brussel Mobiliteit, 2019). De efficiëntie van inductief laden is beperkt tot ca. 90 %, tegenover 99 % bij laden via plug-insystemen (O'Brian, 2019).

50 In het Brussels Hoofdstedelijk gewest zijn er welgeteld vier CNG-oplaadstations (situatie op 10/06/2020 volgens <https://www.gas.be/nl/rijden-op-cng/station-zoeker>).

51 Ionity (een Europees laadnetwerk van snelladers) besliste om vanaf 2020 de prijzen voor een oplaadbeurt via hun snelladers te verhogen.

52 Personen met een fysieke of mentale handicap worden beschouwd als PBM, maar bijvoorbeeld ook bejaarde personen of zwangere vrouwen die moeite hebben om zich te verplaatsen, personen met een been in het gips, enz. (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer [FOD Mobiliteit en Vervoer], s.d.).

Een **alternatief laadsysteem** is het pantograafstelsel. Dit kan gebruikt worden om sneller op te laden bij een stop of op een parkeerplaats (zoals voor elektrische bussen).

Beheer van publieke laadplaatsen is een uitdaging: er bestaat het fenomeen 'laadkleven' (wagens die langer geparkeerd staan dan nodig voor het laden). Ook het afstemmen van het aanbod op de vraag naar publieke laadplaatsen en naar traditionele parkeerplaatsen vergt de nodige aandacht. Er moet een systeem worden uitgedacht dat fair is voor zowel autonome voertuigen als 'traditionele' voertuigen (Carter, 2019).

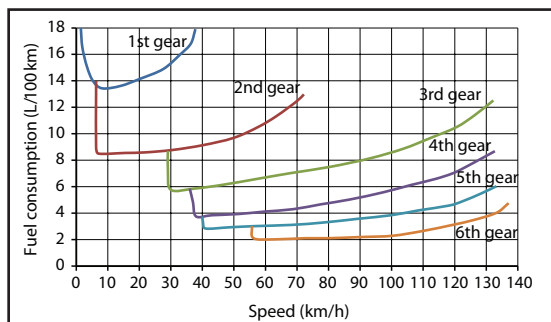
Tot slot, elektrische voertuigen kunnen sneller **accelereren en vertragen** dan voertuigen met thermische motoren. Voor wat betreft elektrisch (autonome) voertuigen speelt de vraag hoe de software rekening zal houden met snelheid en comfort. Onnodige afremmingen zullen moeten worden voorkomen. De banden van elektrische voertuigen zijn meer onderhevig aan slijtage door het sneller accelereren en vertragen, maar het is onduidelijk of dit rijgedrag gevolgen heeft voor de krachten die op een wegstructuur inwerken.

Behalve door in te zetten op minder vervuilende voertuigen kunnen steden de milieupact van transport natuurlijk ook verminderen door het promoten van **collectief vervoer** en **trage mobiliteit**.

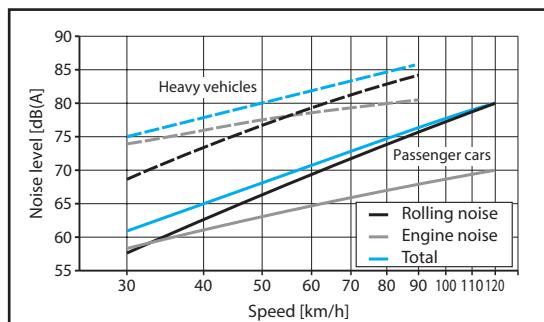
3.3.6 Aanpassing van snelheidslimieten

Er is een tendens naar **lagere snelheidslimieten** in steden, ingegeven door verkeersveiligheids- en milieuoverwegingen (op vlak van geluid). Het aantal straten met een snelheidslimiet van 30 km/u neemt toe, en de snelheidslimieten hoger dan 50 km/u staan onder druk. Zo nam het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) in het ontwerp mobiliteitsplan Good Move de actie op om de snelheidslimiet 30 km/u te introduceren als standaardsnelheid over het hele grondgebied, met hogere snelheidslimieten eerder als uitzondering voor wegen met voornamelijk een verkeersfunctie. Bij het openbaar onderzoek kon de vraag naar verkeersluwe wijken met 30 km/u als limiet op goedkeuring rekenen van bijna driekwart van de 8 500 burgers die de moeite namen om de online bevraging in te vullen (Brussel Mobiliteit, 2019)⁵³.

Onderstaande grafiek links duidt de relatie tussen snelheid, versnelling en brandstofverbruik. De grafiek rechts relateert de snelheid aan rol- en motorgeluid. Bij lagere snelheden zien we een hoger brandstofverbruik, en een lager totaal voertuiggeluid. In gebieden waar de woonfunctie primeert geven lokale overheden voorrang aan verkeersveiligheid en leefbaarheid (onder andere verkeerslawaaï). Beiden zijn gebaat bij lagere snelheden.



Figuur 3.2 – Relatie tussen snelheid, versnelling en brandstofverbruik (Nasir, Noor, Kalam & Masum, 2014)



Figuur 3.3 – Relatie tussen snelheid en voertuiggeluid (rolgeluid en motorgeluid) (Amundsen & Klæboe, 2005)

53

Verkeersluwe wijken, waar minder auto's rijden met een snelheid die is aangepast aan het lokale leven (30 km/u: helemaal mee eens 54 %, eerder wel mee eens 20 %, eerder niet mee eens 12 %, helemaal niet mee eens 14 %) (Brussel Mobiliteit, 2019).

Beleidsplannen spreken zich uit voor woonwijken waar de **leefbaarheid** boven de doorstroming **primeert**. De keuze voor leefbare woonwijken en lagere snelheidslimieten kan ervoor zorgen dat de snelheidsverschillen tussen voertuigen afnemen. Dat is interessant voor autonome voertuigen. Ze hebben te maken met een veelvoud aan informatie van zich verplaatsende voetgangers en voertuigen. Bij lagere rijsnelheden beschikken ze over iets meer marge voor reacties. Testen met autonome voertuigen op de stedelijke openbare wegen zijn veiliger uit te voeren als daar lage snelheidslimieten gelden en de snelheidsverschillen effectief klein zijn.

In Europa moeten vanaf 2022 alle nieuwe voertuigen van geavanceerde veiligheidsmaatregelen worden voorzien. Het gaat om ISA (**Intelligent Speed Adaptation**), de mogelijkheid tot aansluiting van een alcoholslot, vermoeidheids- en aandachtsdetectie, rijstrookassistentie, een noodstopsignaal, achteruitrijdetectie en een gegevensrecorder voor incidenten en ongevallen ("Europees Parlement", 2019). Voor wat betreft ISA is het voorsnog onduidelijk of dit een open systeem zal zijn (enkel aanduiding van de maximaal toegelaten snelheid aan de bestuurder), een gesloten systeem (rijsnelheid wordt actief beperkt tot de maximaal toegelaten snelheid) of iets tussenin.

De **weginfrastructuur** wordt, met het verkeersveiligheidsconcept 'zelfverklarende weg' in gedachten, best aangepast aan deze lagere snelheidslimieten. Het kan gaan om **kleine – of grotere – ingrepen** voor wat betreft het wegprofiel, zoals het effectief versmallen van de rijbaan of door te werken met elementen buiten de rijbaan die zorgen voor een visuele versmalling. Ook **snelheidsremmers** zijn een optie. Dit soort ingrepen kan een groter respect voor snelheidslimieten afdwingen. Dergelijke aanpassingen blijven nodig in een gemengd scenario met voertuigen van verschillende SAE-levels en met ISA-systemen die de snelheid niet effectief afdwingen. Bij een deel van de voertuigen hebben de bestuurders in die situatie nog altijd beslissingsbevoegdheid over de gereden snelheid. Zodra systemen in (autonome) voertuigen effectief gereden snelheden kunnen afdwingen, zijn fysieke snelheidsremmende maatregelen of veranderingen aan het wegprofiel niet meer nodig voor dat doeleinde. De **verwachting** is dat het nog jaren duurt voordat alle voertuigen met effectief snelheidsafdwingende systemen zijn uitgerust.

Aangepaste wegprofielen ten voordele van zachte weggebruikers zijn niet enkel nuttig voor gereden snelheden, maar ook voor (stedelijk) beleid dat streeft naar een duurzamere *modal split* ten voordele van voetganger, fiets, micromobiliteit en openbaar vervoer.

3.3.7 Digitale infrastructuur en diensten

Verdergaande digitalisering vindt plaats in alle delen van de samenleving. Thema's als *Smart City*, *Mobility As A Service* (**MaaS**) staan hoog genoteerd op de beleidsagenda van steden die een grote stap voorwaarts willen zetten naar een moderne en duurzame samenleving.

Op het vlak van mobiliteit gaat de aandacht sterk uit naar ITS-diensten die het gebruik van de wegen veiliger en vlotter maken. Te denken valt bijvoorbeeld aan verkeerslichtenbeïnvloeding (intelligente verkeersregelininstallaties (iVRI) voor openbaar vervoer, spoeddiensten en bepaalde categorieën van weggebruikers of aan informatie over specifieke situaties (wegenwerken, ongevallen, enz.).

Het debat over de toe te passen techniek (**5G of ITS-G5**) is nog niet beslecht. Het is echter wel duidelijk dat deze diensten er in eerste instantie op gericht zijn om informatie in geconnecteerde voertuigen te brengen. Zolang bestuurders het heft in

handen hebben, is het aan de bestuurder om iets met de informatie te doen. Het risico dat bestuurders verschillend reageren zal blijven bestaan. Bij voertuigen van automatiseringsniveaus SAE L4 en L5 reageren de voertuigen zelf. Informatie over relevante kenmerken van de weg of van objecten kan belangrijk zijn voor het kiezen van hun optimaal gedrag en pad. Voor een homogeen gedrag zullen er **afspraken** moeten worden gemaakt met:

- autoconstructeurs (tot welk gedrag dient bepaalde informatie aanleiding te geven);
- digitale kaartenmakers (welke informatie wordt opgenomen op deze kaarten);
- overheden (welk gedrag is wenselijk).

Safety Related Traffic Information (Gedelegeerde Verordening (EU) Nr. 886/2013 (2013), SRTI) is gericht op **verkeersbeheer** bij situaties die de verkeersveiligheid in het gedrang brengen (bv. ijsel, mobiele wegenwerken, verkeersongevallen). Digitale infrastructuur zal het bijvoorbeeld mogelijk maken om weggebruikers te informeren over het verloop van een weg, geldende verkeersregels, aanbevolen rijgedrag in functie van externe factoren (andere voertuigen, weersomstandigheden, enz.). Dat is ook in stedelijke context belangrijk. Een **centraal beheer van incidenten** behoort tot de mogelijkheden. Succesvolle experimenten met SRTI kunnen aanleiding zijn om naast data die relevant is voor veiligheid ook andere data (bv. data relevant voor mobiliteit of voor wegenonderhoud) te gaan delen tussen de voertuigsector en de wegbeheerders.

Er blijft echter nog heel wat **onduidelijk**, zoals:

- De snelheid van de ontwikkeling van *Global Navigation Satellite System* (GNSS) en de producten voor positionering en informatie (kaartinfrastructuur). Het is voor autonome voertuigen zeer belangrijk dat het systeem niet kan uitvallen. Ook satellieten kunnen uitvallen, het is dan nodig dat de GNSS-receivers signalen van andere systemen kunnen opvangen. GNSS verschillen voor wat betreft accuraatheid. Zo is bijvoorbeeld het Europese **Galileo** accurater dan het Amerikaanse **GPS** (*Global Positioning System*) (T4America, 2018).
- De snelheid van de ontwikkeling van de **sensoren op de AV**. De vraag hierbij is: als de autonome voertuigen zelf steeds slimmer worden, is er dan minder behoefte aan digitale voorstelling van de fysieke infrastructuur?
- De ontwikkeling voor wat betreft **privaat eigendom** van personenauto's en de **toelating** van typen voertuigen in de steden. Met de ontwikkelingen op het vlak van MaaS en het in theorie zeer flexibele aanbod van robottaxi's als publieke dienst tegen een lagere financiële gebruikskost, wat is dan de toekomst voor het aantal verkochte private voertuigen? Welke keuzes maakt het beleid? Blijven **beleidskeuzes** primair gebaseerd op wat technologisch mogelijk is? Worden bedrijfswagens vervangen door een mobiliteitsdienst? Mogen private voertuigen bepaalde zones nog binnen in de toekomst? Ondanks de ontwikkeling van mobiliteitsplannen met sterke aandacht voor digitalisering, is de **uitwerking van het beleid** niet goed te voorspellen.

Voor wat betreft **weginfrastructuur** zijn het vooral de **toebehoren** van de wegenis die moeten worden aangepast: verkeerslichtenregelingen, informatiepanelen (parkeer-verwijzing) en verkeersborden zullen naast het tonen van de boodschap ook in staat moeten zijn te communiceren met geconnecteerde en autonome voertuigen. De klassieke verkeersborden zijn in principe ook detecteerbaar en interpreteerbaar door camera's en algoritmen. Dikwijls echter worden deze verkeersborden aangevuld met allerlei informatie over wanneer of voor wie de regels van het verkeersbord gelden. De huidige technologie lijkt vooralsnog niet in staat te zijn deze **aanvullende informatie** op een correcte manier te herkennen. Een digitale weergave van het verkeersbord, inclusief de aanvullingen over de geldigheid, is allicht een goede optie om aan deze problematiek tegemoet te komen.

De zelfrijdende voertuigen waarmee vandaag wordt geëxperimenteerd op beperkte trajecten, functioneren hoofdzakelijk op basis van GNSS-navigatie en sensoren. Voor grootschalige ontwikkelingen lijken **gedetailleerde en up-to-date kaarten** een belangrijke voorwaarde. Er is mogelijk een belangrijke rol weggelegd voor wegbeheerders en aannemers (in verband met up-to-date informatie over wegwerkzaamheden). Het is nodig om afspraken te maken met de serviceproviders (een enkele **serviceprovider** of op elkaar af te stemmen meerdere serviceproviders). Er ligt nog een grote uitdaging om de **accuraatheid** van bestaande systemen en websites (GIPOD, Osiris, Trafiroute, enz.) op punt te stellen, zodat het strookt met de werkelijkheid en zodat autonome voertuigen optimaal kunnen worden geïnformeerd.

Voor wat betreft **kruispunten**, is er een evolutie mogelijk op (zeer) lange termijn naar kruispunten waar de interactie louter is gebaseerd op communicatie. Als alle voertuigen van automatiseringsniveau SAE L5 zijn en iedereen die zich verplaatst geconnecteerd is, zouden verkeerslichten aan kruispunten niet langer nodig kunnen zijn. Vooral nog zullen **verkeerslichten** echter nog lang een belangrijke rol spelen.

Bij **nieuwe installaties of vervangingen** is het nu reeds zinvol om in te zetten op intelligente verkeerslichtenregelininstallaties (iVRI). Deze systemen maken communicatie tussen het verkeerslicht en de weggebruiker mogelijk. Dit kan in beide richtingen: op basis van individuele weggebruikersdata van een aanvullende informatiebron en detectielussen kan een iVRI de regelingen beter afstemmen op de actuele verkeerssituatie. **iVRI** is geschikt voor:

- **prioriteren**, het gaat bijvoorbeeld over het voorzien van een langere groenfase voor een bepaalde richting of combinatie van richtingen, of over een extra groenrealisatie voor bepaalde categorieën voertuigen;
- **informer**, het *in-car* verstrekken van actuele informatie vanuit de iVRI. Het gaat bijvoorbeeld over de adviessnelheid, tijd tot rood (TTR) of tijd tot groen (TTG), waarmee de weggebruiker zijn rijgedrag (snelheid, attentieniveau kan aanpassen);
- **optimaliseren**, van de afwikkeling op een of meerdere kruispunten door het beschikbaar stellen van data uit voertuigen aan de verkeersregelingen (Hormann & Bakker, 2019).

3.3.8 Trage mobiliteit en toegankelijkheid

In toekomstvisies voor steden krijgt individueel gemotoriseerd vervoer doorgaans minder plaats toebedeeld dan vandaag het geval is. De **ruimte** die daarmee vrijkomt, kan worden gebruikt door voetgangers, fietsers en vormen van micromobiliteit. De ruimte kan ook vergroenen of een nuttige of aangename invulling krijgen. Er zal vermoedelijk extra **behoefte** bestaan aan hubs waar verkeersdeelnemers kunnen switchen tussen verschillende transportmiddelen. Een aandachtspunt in de toekomstvisies blijft de behoefte aan ruimte voor autonome voertuigen (bv. wachtruimte, in- en uitstaplocaties).

Lage snelheden, minder personenvoertuigen en meer niet-gemotoriseerde verkeersdeelnemers leiden vermoedelijk tot meer **interacties** tussen traag rijdende voertuigen en andere weggebruikers. Smallere wegen met minder en tragere voertuigen laten voetgangers toe om eenvoudiger over te steken en niet noodzakelijk tot aan een oversteekplaats te wandelen. Om dit op een comfortabele wijze toe te laten (onder meer voor personen met beperkte mobiliteit) kunnen **niveaoverschillen** tussen voetgangerszones en de rijweg worden beperkt (zoals reeds wordt aangeraden voor toegankelijkheid). Zones die bestemd zijn voor verschillende gebruikers kunnen worden onderscheiden door **verschillende kleuren** en verschillende **soorten verharding** (NACTO, 2019). Bij lage snelheden (30 km/u of lager) kun je de vraag stellen in hoeverre er nood is aan specifieke voetgangersoversteekplaatsen.

Het is bij een aangepaste weginrichting belangrijk om ook oog te hebben voor voldoende **toegankelijkheid voor hulpdiensten** en andere dienstverleners die noodzakelijkerwijs vlotte toegang moeten hebben tot de plaats waar hun diensten worden gevraagd.

Zelfrijdende voertuigen zullen rekening moeten houden met deze ontwikkelingen. In steden bijvoorbeeld dienen continue verkeersstromen van dicht op elkaar rijdende CAV eerder te worden vermeden om voetgangers en fietsers toe te laten vlot over te steken. Specifieke ruimtes (voor wachten, in- en uitstappen) voor autonome voertuigen moeten op een veilige wijze worden ingeplant. In het bijzonder bij hubs is het van belang om die ruimte af te stemmen op de noden van alle modi in de omgeving.

3.3.9 Diversificatie van openbaar vervoerdiensten

Vervoersmaatschappijen spelen een belangrijke rol in de stedelijke mobiliteit. Het **traditionele vervoer** (bussen, trams, metro) blijft de ruggengraat van hun diensten. Deze voertuigen zijn weinig (bus) of niet (tram, metro) flexibel voor wat betreft trajecten. Ze hebben ook, vanwege hun afmetingen, hun beperkingen voor wat betreft inpasbaarheid in het stedelijke weefsel. Om tegemoet te komen aan een stijgende vraag naar openbaar vervoer, proberen openbaarvervoerbedrijven hun diensten te **diversifiëren**.

De **zelfrijdende (elektrische) shuttle**⁵⁴ is daarvan een voorbeeld. Een groot voordeel van een zelfrijdende shuttle is dat de hoge personeelskost kan wegvallen, als de wetgeving toelaat om zonder chauffeur of begeleider een dienst aan te bieden op de openbare weg. Het uitgebreid testen van dergelijke shuttles in verschillende omgevingen moet een antwoord geven op de vragen of dit nieuwe concept tegemoetkomt aan noden van zowel gebruikers als (lokale) overheden, onder welke omstandigheden ze correct werken en of er sprake is van een rendabele businesscase.

54

§ 3.4 Shuttles.

Bij de huidige generatie shuttles wordt een **vast traject** geprogrammeerd met aanduiding van aandachtspunten (waar de snelheid bv. iets wordt verlaagd), in combinatie met voertuigsensoren om lokale situaties te detecteren.

Naargelang de testen vorderen kan het zogenaamde *Operational Design Domain* (ODD), de omgeving waarin wordt getest, complexer worden. Gekeken wordt naar regelgeving en administratieve aspecten, maar zeker ook de infrastructurele – en omgevingsaspecten komen aan bod. Naar **infrastructuur** toe zijn meerdere aspecten van belang:

- de kwaliteit van het wegdek is belangrijk om valse detecties te vermijden;
- het is cruciaal dat een traject zo weinig mogelijk (visuele) obstakels bevat die een correcte interpretatie van de weg door het voertuig in gedrang kan brengen;
- in steden is cellulaire dekking mogelijk een stuk beter dan buiten steden, maar ervaring leert dat er langs een route een aantal referentiepunten geplaatst dienen te worden, als de GNSS-dekking te beperkt is ten gevolge van bijvoorbeeld begroeiing;
- de voertuigen hebben behoefte aan laadinfrastructuur en parkeerruimte bij niet gebruik. De parkeergelegenheid wordt best afgeschermd (bescherming tegen vandalisme).

3.3.10 Levering van goederen

Behalve transport van personen kunnen zelfrijdende voertuigen natuurlijk ook worden ingezet voor de distributie van goederen. De **last mile** in de verdeling van goederen is tijdrovend en kostelijk. Vooral in steden is het vaak niet eenvoudig om vrachtwagens in

te zetten voor de verdeling van goederen. Er bestaan allerlei scenario's om zelfrijdende voertuigen in te zetten om dit vlotter te doen verlopen. Daarbij kan worden gedacht aan zelfstandig rondrijdende *delivery points*, volledig zelfrijdende kleine robots die vertrekken vanuit een verdeelcentrum of vanuit een groter autonoom voertuig (*mother ship*) of autonome voertuigen ter ondersteuning van een menselijke bezorger (zodat deze zich kan focussen op zijn hoofdtaak), enz.⁵⁵

55

Zie VIL-project ALEES (Autonome Logistieke Elektrische Eenheden voor Steden) met een aantal mogelijke scenario's voor de inzet van zelfrijdende voertuigen binnen stadslogistiek (Claeys, 2018).

Al deze grote en kleine vervoermiddelen maken gebruik van de voorhanden zijnde infrastructuur. Automatisering kan eventueel toelaten dat zulke vervoermiddelen gebruikmaken van gereserveerde rijstroken (bv. busstroken). Belangrijk hierbij is dat het gebruik van de goederenvervoermiddelen geen extra hinder veroorzaakt voor de diensten waarvoor deze stroken gereserveerd zijn.

Mogelijk is er een belangrijke rol weggelegd voor distributiecentra. Deze dienen enerzijds goed bereikbaar te zijn voor de aanvoer van goederen, zo mogelijk multimodaal. Anderzijds is de locatie van belang; ze moet toelaten dat leveringen zo efficiënt mogelijk kunnen gebeuren.

3.4 Shuttles

Bij de uitdagingen in stedelijke context kwamen 'shuttles' meerdere keren aan bod. In dit hoofdstuk gaan we specifiek in op de **scope**, de **testen** en **ontwikkelingen** van shuttles. We leggen terug het verband met de **uitdagingen** op vlak van mobiliteit. Vervolgens gaan we in op de link met de fysieke **weginfrastructuur**.

3.4.1 Scope

Het is gebruikelijk dat het begrip shuttle wordt gekoppeld aan **diensten**, om *shuttle services* te vormen. Met *shuttle services* wordt het type diensten bedoeld die op de eerste plaats gericht zijn op het vervoeren van passagiers over een vast traject tussen twee vaste punten, met daartussen mogelijk meerdere op- en afstapplaatsen. De diensten zijn meestal voor korte of middellange afstanden die minder dan een uur duren.

'Autonome' shuttles zijn een **nieuwe vorm** van collectief vervoer. Het gaat om kleine voertuigen die zich autonoom kunnen verplaatsen. Ze worden elektrisch aangedreven en zijn eerder beperkt in afmeting. Door die afmeting zijn ze zeer geschikt om een beperkt aantal passagiers te vervoeren zonder veel openbare ruimte in te nemen. Voor openbaarvervoermaatschappijen en andere aanbieders van mobiliteitsdiensten is het op langere termijn een grote troef dat autonome shuttles daadwerkelijk **zonder bestuurder of begeleider** kunnen worden ingezet. Dit is realiseerbaar als testen hebben uitgewezen dat shuttles daartoe volledig in staat zijn, als regelgeving dit toestaat, en als er sprake is van een gunstige businesscase.

Autonome shuttles bieden een wezenlijk andere service aan dan de zogenaamde **robottaxi's**. Robottaxi's zijn eveneens zelfrijdende taxi's zonder chauffeur (automatiseringsniveau SAE L4 of L5), die echter bedoeld zijn voor een *on-demand* mobiliteitsdienst voor gebruik op de openbare weg. Autonome shuttles zijn op dit ogenblik voertuigen van SAE L4 die vooraf vastgelegde trajecten kunnen afleggen op de openbare weg of daarbuiten. Bij robottaxi's daarentegen gaat het over een flexibel traject. Als shuttles ook kunnen worden ingezet op flexibele trajecten zal het onderscheid tussen dit type dienst en robottaxi's op termijn wellicht verdwijnen.

Shuttles zijn bestemd voor meerdere (groepen van) gebruikers. Bij robottaxi's is er nog een onderscheid tussen voertuigen die gebruikt worden door één gebruiker (of een groepje bij elkaar horende gebruikers) en waarbij er tijdens de rit geen andere gebruikers worden opgepikt (*ride hailing*). In een variant is het mogelijk dat tijdens de rit nog andere gebruikers worden opgepikt en dat daarvoor wordt afgeweken van het oorspronkelijk geplande traject (*ride sharing*)⁵⁶.

Op minstens één aspect komen autonome shuttles en robottaxi's met elkaar overeen: het idee dat er geen chauffeur of begeleider meer nodig is voor het besturen van de voertuigen. **Bedrijfseconomisch** gezien is dat een erg interessante ontwikkeling voor de vervoeraanbieders.

De ontwikkelingen van autonome shuttles en robottaxi's zijn parallelle processen. Er zijn deskundigen die stellen dat de robottaxi's binnen 10 jaar **grootschalig ingang** zouden kunnen vinden in steden en nadien ook in meer landelijke gebieden. Het grote voordeel van deze robottaxi's is dat ze kunnen instaan voor deur-tot-deur verplaatsingen (of iets minder vergaand, van 'straathoek' tot 'straathoek' waarbij passagiers met verschillende bestemmingen misschien eerder geneigd zullen zijn om één gedeeld voertuig te gebruiken). In de stad Phoenix gaat Waymo (<https://waymo.com/>) al van start met robottaxi's zonder 'reservemens' voor het overnemen van rijtaken. Alvast in China wordt verwacht dat de uitbatingskosten van een vloot robottaxi's voor eind 2030 zullen dalen tot onder het niveau van een conventionele voertuigenvloot (Pizzuto, Thomas, Wang & Wu, 2019). Een lagere kostprijs kan dan toelaten om in te zetten op een betere dienstverlening en kortere wachttijden voor gebruikers.

Een groot succes van robottaxi's kan **gevolgen** met zich meebrengen voor andere verplaatsingsmiddelen. In de eerste plaats zou het aantal private voertuigen kunnen verminderen. Ook kunnen openbaarvervoerdiensten eronder lijden, zowel de traditionele vormen als de nieuwe vormen zoals de autonome shuttle.

Robottaxi's hebben echter maar een meerwaarde als deze ook efficiënt worden gedeeld. Als robottaxi's worden gebruikt als individueel persoonlijk vervoer, zal het aantal gereden kilometers sterk stijgen (onder meer door de lege kilometers om passagiers op te pikken) en wordt het congestieprobleem alleen maar groter.

Simulaties voor Lissabon toonden aan dat vervanging van de voertuigvloot door 10 % (dalperiode) tot 35 % (piekperiode) **gedeelde** robottaxi's, gecombineerd met performant openbaar vervoer, kan volstaan om aan de actuele vervoersvraag te beantwoorden (Martinez & Viegas, 2016), zonder dat daarbij dient te worden ingeboet op de kwaliteit van de geleverde dienst⁵⁷ met een vergelijkbare beschikbaarheid als een eigen vervoersmiddel. Volgens dezelfde studie zou **parkeren** op de straat daardoor bijna volledig kunnen verdwijnen waardoor er heel wat ruimte vrijkomt die anders kan worden ingevuld. Volgens andere studies zijn er nog heel wat **open vragen** over het vermeende verdwijnen van de nood tot parkeren⁵⁸.

3.4.2 Testen

Het ontwikkelingspad van shuttles loopt via **uitgebreide testen** op van tevoren vastgelegde trajecten. Het testen van autonome shuttles vindt plaats in verschillende omgevingen. Het kan hierbij gaan om testen buiten of op de openbare weg, met verschillende gradaties voor wat betreft de aanwezigheid van andere weggebruikers (voetgangers, fietsers, of ook personenauto's).

56

§ 3.3.3 Wegen in stedelijke omgeving.

57

In de simulatie worden de maximale wachttijden beperkt als functie van de totaal af te leggen afstand (max. 10 minuten voor een afstand die groter is dan 12 km). De totaal verloren tijd (omwille van opstoppingen of omleidingen) wordt eveneens beperkt als functie van die totale afstand (max. 15 minuten voor afstanden groter dan 12 km).

58

§ 3.3.5 Vergroening van transport.

De testen moeten vooral de vragen beantwoorden of de shuttles voorzien in een **behoefte** van gebruikers en wegbeheerders, en onder welke **omstandigheden** de shuttles correct werken. Alvorens over te gaan tot grootschalige uitrol van autonome shuttles, moet er een goed beeld verkregen worden van de voor- en nadelen van dergelijke voertuigen en de toegevoegde waarde om nieuwe mobiliteitsdiensten vorm te geven. De vereisten en randvoorwaarden op het vlak van de diensten, omgeving en weginfrastructuur, regelgeving en omkadering moeten helder zijn.

Voor een overzicht van testen in Europa, zie International Association of Public Transport (UITP) (s.d.).

Bij de testen staan **veiligheid** en **perceptie** vooraan de lijst van voorwaarden. Net als dat het geval is voor de automobielconcerns bij de ontwikkeling van autonome voertuigen, is het voor vervoermaatschappijen essentieel dat hun voertuigen veilig van de weg gebruik kunnen maken. Bij twijfel over de veiligheid zullen mensen immers geen gebruik gaan maken van deze nieuwe dienst.

Er dient bovendien ook aandacht te zijn voor de **aanvaarding** van deze zelfrijdende shuttles door andere weggebruikers (Feys, Rombaut, Macharis & Vanhaverbeke, 2020; Rombaut, Feys, Vanobberghen, De Cauwer & Vanhaverbeke, 2020). Bij een autonome shuttle is er immers geen bestuurder die kan communiceren door oogcontact of handgebaren. Bij andere weggebruikers kan dit leiden tot argwaan en twijfel ('heeft die wagen mij wel opgemerkt?') en tot minder vertrouwen in autonome voertuigen. Er wordt onderzoek gedaan naar technologieën die voor een alternatieve vorm van communicatie kunnen instaan. Bij testen worden zelfrijdende shuttles in principe extreem voorzichtig geprogrammeerd zodat bij de minste twijfel het voertuig altijd de meest veilige beslissing zal nemen.



Figuur 3.4 – Self-driving shuttle test (VIAS Institute, 2018)

Bij het organiseren van testen is het belangrijk om steeds alle mogelijke stakeholders mee te betrekken: de politie, de lokale en gewestelijke overheden, de FOD Mobiliteit en Vervoer (in verband met de toelating van voertuigen op de openbare weg), de openbaarvervoermaatschappijen (in verband met mogelijke interactie met hun diensten), de gebruikers, omwonenden en handelaars. Het is eveneens essentieel om duidelijk te communiceren over de mogelijkheden, beperkingen en doelstellingen van het geteste systeem.

§ 5.3 Testen: testsites & Living Labs (EU).

59

Tot slot, al in 2015 / 2016 stelde de FOD Mobiliteit en Vervoer in overleg met partners een gedragscode op voor testen in België⁵⁹.

3.4.3 Ontwikkelingen

In § 3.3 Wegen in stedelijke omgeving werd ingegaan op een serie ontwikkelingsrichtingen die in stedelijke context in gang zijn gezet en waar beleidsdocumenten zich over uitspreken. Een aantal ervan kan niet los worden gezien van de ontwikkeling van autonome shuttles.

De autonome shuttles zijn een dienst van collectief vervoer. Ze zijn elektrisch en maken deel uit van het pakket aan milieuvriendelijke vervoersmiddelen die bijdragen aan de lokale leefbaarheid. De gereden snelheid van autonome shuttles is, zo blijkt uit diverse testen, erg laag. Dit past goed bij de omstandigheden waarin de testen in eerste instantie plaats vinden: winkelgebieden en campussen (met veel langzame voetgangers, fietsers en micromobiliteit), luchthavens (weinig interactie op de shuttletrajecten), enz. Maar ook daarbuiten (op de openbare weg, op locaties met gemengd verkeer, inclusief voertuigen van de laagste SAE-levels) geldt dat testen met shuttles tegen lage snelheid veiliger zijn uit te voeren in situaties met beperkte snelheidsverschillen. De lage snelheid van zelfrijdende shuttles laat toe om de openbare ruimte op een veilige manier te delen met andere, minder beschermde, weggebruikers.

De in ontwikkeling zijnde **digitale diensten** (zoals *Mobility as a Service*, MaaS) zouden idealiter rekening moeten houden met het bijkomende aanbod van autonome shuttles. Die diensten moeten de nodige flexibiliteit inbouwen, zodat de testen met autonome shuttles integraal deel uitmaken van het MaaS.

Bij de huidige generatie shuttles wordt een **vast traject** geprogrammeerd met aanduiding van aandachtspunten (waar de snelheid bijvoorbeeld iets wordt verlaagd), in combinatie met voertuigsensoren om lokale situaties te detecteren. Voor de vastgelegde trajecten is **hoogwaardig kaartmateriaal** nodig. In het logische geval dat de shuttles van één vervoeraanbieder zijn, speelt de vraag rond de provider van dit kaartmateriaal (*single service* of meerdere) geen rol. Uiteraard moet de kaart up-to-date worden gehouden, zodat de shuttle rekening kan houden met de werkelijke situatie op het terrein.

3.4.4 Infrastructuur

De huidige testen geven een eerst inzicht in de **vereisten naar weginfrastructuur** en het gebruik van de weginfrastructuur toe:

- De **kwaliteit** van het wegdek is belangrijk om te vermijden dat gebreken van het wegoppervlak de shuttle doen stoppen of dwingen tot onnodige uitwijkmaneuvers. Kleine gebreken zijn geen probleem. Met de huidige technologie worden grotere gebreken echter best vermeden.
- **Vervuiling** van het wegoppervlak (modder, stof) kan een negatieve invloed hebben op het functioneren van detectiesystemen en dient te worden vermeden.
- (**Visuele**) **obstakels** die de shuttle onnodig doen stoppen, dienen te worden vermeden. Aandachtspunten zijn vegetatie, slecht geparkeerde of stilstaande voertuigen.
- Als de beschikbaarheid van GNSS-positionering niet kan worden verzekerd (bv. door een bladerdek of in tunnels), kunnen **aanvullende referentiepunten** nodig zijn.
- **Laadinfrastructuur** en **parkeerruimte** worden best afgeschermd (bescherming tegen vandalisme).
- Tijdens sommige testen bleek dat er in het spoor van de shuttle een licht verhoogde **slijtage** van het wegoppervlak kon worden vastgesteld. Dit kan worden beperkt door de **vetergang** mee te programmeren in het rijgedrag van de autonome shuttle.

- **Beweging op de rand** van het voetpad wordt soms geïnterpreteerd als een risico.
- Voor het **in- en uitstappen** van reizigers op de openbare weg zet een autonome shuttle zich doorgaans aan de kant van de weg. Het is mogelijk dat hiervoor enkele parkeerplaatsen dienen te worden opgeofferd. Het in- en uitvoegen van de shuttle met het overige verkeer is een complexe operatie. Stoppen aan een uitstulpende halte op de rijbaan is minder complex en eventueel een te onderzoeken optie (acceptatie, inhaalmanoeuvres).

Hoofdstuk 4

Besluit

In vorige hoofdstukken hielden we een veelvoud aan aspecten tegen het licht op het vlak van CAV⁶⁰. De verzamelde informatie geeft inzicht in de mogelijke gevolgen van CAV voor de weginfrastructuur en de wegbeherende overheden. We plaatsten dit in een maatschappelijke context. In dit hoofdstuk wensen we de hoofdzaken samen te brengen. De indeling is als volgt:

60

Voor de gebruikte terminologie, zie § 2.1 Omschrijving CAV.

- 4.1 Inleiding: kort **overzicht van het hoe en waarom** van het onderzoek;
- 4.2 **(On)zekerheid en complexiteit** rond CAV;
- 4.3 Maatschappelijke evoluties/beleid, over de nood aan **beleidsonderzoek**, en de **maatschappelijke aspecten** rond autonome voertuigen;
- 4.4 **Weginfrastructuur**: de '**no regret**'-maatregelen op de volgende vlakken:
 - signalisatie;
 - wegverloop;
 - wegstructuur;
 - wegoppervlak.

4.1 Inleiding

OCW wenste op eigen initiatief onderzoek te doen naar de **rol van de fysieke weginfrastructuur** in de ontwikkelingen van zelfrijdende voertuigen.

De **aanleiding** voor dit onderzoek was het inzicht dat er heel veel factoren rond CAV worden bestudeerd en veel aandacht krijgen, maar ook het aanvoelen dat het aspect 'fysieke weginfrastructuur' eerder beperkt aan bod komt.

Voor **wegbeheerders** is het belangrijk dat ze goed gewapend de uitdaging kunnen aangaan en de voorwaarden creëren die de geleidelijke transitie naar autonome voertuigen van hogere SAE-levels mogelijk maken (onder andere aangepaste of gemakkelijk aanpasbare infrastructuur). Tegelijkertijd kunnen de gegevens die door de inzet en het gebruik van deze voertuigen ter beschikking komen, bijdragen aan de taken die wegbeheerders dienen te vervullen (o.a. wegbeheer, verkeersveiligheid en verkeersbeheer). De focus van de wegbeheerders moet blijven uitgaan naar **weginfrastructuur**, maar wordt tegelijkertijd uitgebreid naar **digitale infrastructuur**, communicatie en geolokalisatie. Ook het gebruik van de weg door verschillende modi en voor verschillende reismotieven heeft hun aandacht.

Anderzijds dienen ook **aannemers** voorbereid te zijn op de veranderingen die dit op diverse vlakken mogelijk voor hen teweeg zal brengen, zoals aanpassingen aan de weg en wegomgeving, en communicatie van de wegwerkzaamheden.

De door het OCW samengestelde werkgroep bestond uit **deskundigen** van verschillende organisaties, die elk vanuit hun eigen expertise een bijdrage hebben kunnen leveren aan discussies over het geschetste onderzoeksonderwerp. Tijdens de vergaderingen van de werkgroep vonden boeiende **kennisuitwisselingen** plaats.

Samen met een screening van **relevante literatuur** (+215 documenten) hebben de besprekingen geleid tot het onderhavige document. U vindt hierin een stand van zaken en een toekomstverkenning op het vlak van CAV en weginfrastructuur.



Figuur 4.1 – Totstandkoming van de publicatie ‘CAV & weginfrastructuur – stand van zaken en toekomstverkenning’

In het document staan **conclusies** waarvan het aannemelijk is dat ze enkele jaren zullen gelden na publicatie van het onderhavige rapport. Ons streven hierbij is om inzicht te verschaffen over ‘**no regret**’-maatregelen op het vlak van weginfrastructuur. We kunnen er echter niet omheen om het **grotere plaatje** te schetsen: weginfrastructuur is weliswaar een essentiële voorwaarde voor verplaatsingen, maar heeft vanzelfsprekend nauwe raakvlakken met andere aspecten van de maatschappij en het verplaatsingssysteem in het bijzonder.

4.2 (On)zekerheid en complexiteit

Op basis van de literatuur en de discussies kunnen we stellen dat onze verplaatsingen zich de komende decennia zullen kenmerken door een mix van publieke diensten en particuliere vervoermiddelen, en door een grote **variëteit aan connectiviteit en graden van autonomie** van de voertuigen.

Een mogelijk eindbeeld – een samenleving met 100 % geconnecteerde verplaatsingen (van alle typen weggebruikers) en autonome voertuigen van louter SAE level 5 – **blijft vooralsnog ver weg**. De nodige veranderingen zijn dermate verstrekkend dat de weg naar een dergelijke samenleving geplaveid is met talrijke onzekerheden. De afweging van de voor- en nadelen⁶¹, de timing en de ontwikkeling van technologieën⁶², de regels / rollen / verantwoordelijkheden (voor bestuurders, voertuigen, wegbeheerders, beleidsinstanties, enz.), de maatschappelijke acceptatie en ethische kwesties: op die vlakken zijn er nog **belangrijke stappen** te zetten.

In de komende decennia met diverse niveaus van autonomie (SAE-levels) en geconnecteerde en niet-geconnecteerde verplaatsingen, is de praktische uitwerking in te zetten stappen nog weinig duidelijk. Voor wegbeheerders komt het eropaan om permanent kennis op te doen over **voortschrijdende inzichten** die de onzekerheden wegnemen.

We mogen spreken van een algemene consensus dat de geleidelijke introductie van autonome voertuigen **complex** is:

- De ontwikkeling van autonome voertuigen is slechts een van de **uitdagingen** waarvoor wegbeheerders zich gesteld zien. § 3.3 gaat, in willekeurige volgorde, uitgebreid in op de uitdagingen in de **stedelijke context**: de opkomende micromobiliteit, de deelsystemen, de vergroening van transport, de aanpassing van snelheidslimieten,

§ 2.2 Doelstellingen.
 § 2.4 Uitrol CAV & hinderpalen.

- de digitale infrastructuur, de inzet op trage mobiliteit en toegankelijkheid, en de diversificatie van openbaar vervoerdiensten.
- Autonome voertuigen hebben het potentieel om **grote veranderingen en vernieuwingen** van het hele **vervoerssysteem** te bewerkstelligen. Op de openbare weg toegelaten CAV zijn voertuigen die een homologatieprocedure moeten hebben doorstaan, waarbij rekening wordt gehouden met de weginfrastructuur.
 - Er blijven echter veel vragen:
 - Via welk beleid (lokaal, nationaal) ten aanzien van personenvervoer en goederenvervoer zou die verandering tot stand kunnen komen? Tegen welke termijn? En op welke locaties?
 - Wat hebben we ervoor over om te komen tot veranderingen en vernieuwingen van het vervoerssysteem? Wat is de wenselijkheid van die ontwikkeling⁶³?
 - Met betrekking tot **weginfrastructuur**⁶⁴:
 - Wat zijn de maatregelen die nu genomen kunnen of moeten worden?
 - Welke afstemming of welk onderscheid is er te maken naar type weg, naar type vervoermiddel, naar technologisch ontwikkelingsniveau (SAE-levels)?
 - Wie zal waar mogen of kunnen rijden?

63

§ 4.3 Maatschappelijke evoluties / beleid.

64

§ 2.4.1 Weginfrastructuur.

4.2.1 Toekomstverkenning en risicobeheersing

Vanwege de onzekerheden is het aan te bevelen dat wegbeheerders bij planning van het vervoerssysteem meer werk zouden maken van **toekomstverkenning** en **risicobeheersing**.

Toekomstverkenning is enorm belangrijk. Het is wenselijk dat wegbeheerders in **scenario's** denken, met enerzijds een langetermijnhorizon (10 jaar en meer) en anderzijds oog voor onzekerheden en de over- en onderschatting van de ontwikkelingsmogelijkheden. Het is daarna raadzaam om vervolgens **pragmatisch** te handelen: hoofdzakelijk inzetten op 'no regret'-maatregelen voor het komende lustrum, en in de loop van de tijd de acties bijstellen als functie van het voortschrijdend inzicht⁶⁵.

65

§ 2.4.3 Toekomstverkenning.

Risicobeheersing kan een grote troef zijn. Dit is een doorlopend proces en een essentieel onderdeel van projectmanagement. Specifiek naar CAV toe: risicobeheersing werd opgenomen in de Gedragscode voor testen in België⁶⁶. **Scenario based planning** zou kunnen helpen om beter te anticiperen op de toekomst. Dit soort planning vertrekt van het idee dat een organisatie meerdere scenario's accepteert die elk de potentie hebben in de toekomst bewaarheid te worden (CFO Redactie, 2016). In de zogenaamde **beslissingsgerichte planningsbenadering** neemt omgaan met onzekerheid een belangrijke plaats in bij de transformatie van situaties tot keuzesituaties. Aanhangers van deze benadering omarmen onzekerheid, en houden rekening met lacunes in kennis, veranderende waardepatronen en onbekende effecten op maatregelen die in de toekomst aan de orde komen (Faludi, 1973).

66

§ 5.3.1 België.

4.2.2 Onderzoek ten behoeve van testen

Voortschrijdend inzicht wordt gevoed door het doen van onderzoek. De onderzoeksagenda voor de uitrol van autonome voertuigen is rijk gevuld. Op alle vlakken waarover onzekerheid bestaat, kan enkel een antwoord worden gevonden door het doen van onderzoek en het uitvoeren van **testen**.

Er vinden heel wat testen plaats op het vlak van **autonome shuttles**, die een aanvulling kunnen zijn op meer traditionele vormen van openbaar vervoer.

De huidige stand van zaken is dat er **nog geen businesscase** is. Dat weerhoudt de openbaarvervoerorganisaties er niet van om testen te initiëren of voort te zetten.

De testen vinden gebruikelijk eerst in relatief eenvoudige situaties plaats, in omgevingen waar de confrontatie met andere weggebruikers beperkt is, en aan beperkte snelheden. Bijvoorbeeld: een park, een voetgangerszone, een campus met weinig vervoer. **Stapsgewijs** gaat men ertoe over om de shuttles te laten rondrijden in **complexere situaties**, zoals op de openbare weg. Wegbeheerders zijn een onvermijdelijke partner bij het ondersteunen van testprojecten met CAV. Gezien de complexiteit is er sprake van een stapsgewijze aanpak en voortschrijdend inzicht waarbij voertuigtechnologie, infrastructuur hertekening en aanpassing van regelgeving, hand in hand gaan.



Figuur 4.2 – Test met autonome shuttle in voetgangersgebied van Masdar City, Abu Dhabi, oktober 10, 2019



Figuur 4.3 – Drietalig waarschuwingsbord in gebruik bij de test van zelfrijdende shuttle in Neder-over-Heembeek, februari 12, 2020

Van wegbeheerders moet kunnen worden verwacht dat ze ook bij **testen** met andere voertuigen dan autonome shuttles een rol spelen, zowel bij de voorbereiding als de uitvoering. Ze beschikken bij uitstek over relevante **informatie van hun wegennet**, op vlak van het gebruik (vervoermiddelen, reismotieven, congestiegevoeligheid, verkeersonveilig gedrag, enz.) en de infrastructuur (wegontwerp, -inrichting en -signalisatie, intrinsieke verkeersveiligheid, infrastructuurkeuzes, onderhoudsbehoefte, enz.).

De **praktijkennis** kunnen ze **confronteren** met door onderzoekers voorgestelde **ODD** (*Operational Design Domain*)⁶⁷ de beschrijving van de specifieke operationele domeinen waarvoor een geautomatiseerde functie of systeem is ontworpen om naar behoren te werken. Het is mede aan (lokale) wegbeheerders om te beoordelen hoe en waar de testen in de praktijk kunnen plaatsvinden.

Het testen van verschillende **use cases** is op zijn plaats. Een interessante case is die van de wegwerkzaamheden. Bijzondere aandacht is aangewezen voor de niet geconnecteerde weggebruikers.

Voor bovenlokale wegbeheerders is deelname aan de **ontwikkeling van de ODD** zelf cruciaal. Dit kan door mee te werken aan internationale werkgroepen en onderzoeksprojecten, of op zijn minst die initiatieven op te volgen. Bij de verdere

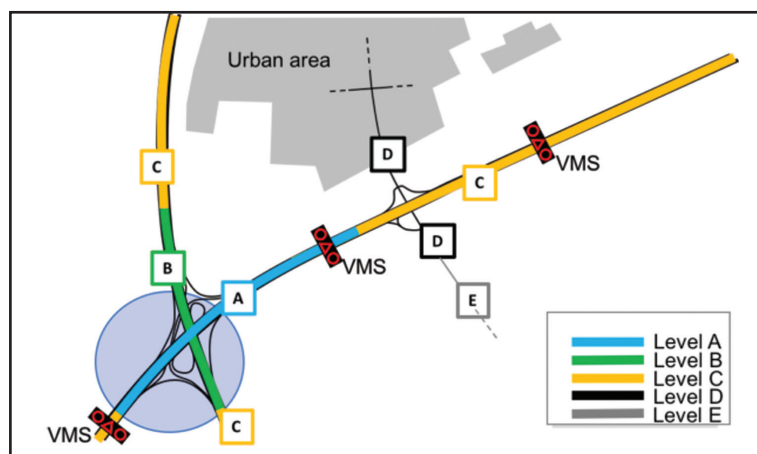
⁶⁷ ODD / Operational Design Domain: de specifieke omstandigheden waaronder een bepaald rijautomatiseringssysteem of een kenmerk daarvan is ontworpen om te functioneren, met inbegrip van, maar niet beperkt tot, rijmodi. Dit kan verschillende beperkingen bevatten, zoals die van geografie, verkeer, snelheid en wegen (Lemecjava, 2016).

ontwikkeling van de ODD zal er verder aandacht gaan naar transities tussen zones of weggedelen van verschillend **ISAD-level** (*Levels of Infrastructure Support for Automated Driving*).

De nodige aandacht wordt gevraagd voor de volgende **factoren**:

Type weg of wegvak	Voor welk type weg is een bepaalde functie of een bepaald automatiseringsniveau ontwikkeld?
Tiid	Op welke momenten kan een bepaald niveau van automatisering door een wegvak worden ondersteund?
Weer	Bij welk weer kunnen de verschillende automatiseringsniveaus functioneren?
Verkeer	Wat is de invloed van de hoeveelheid en het type verkeer op de ondersteunde automatiseringsniveaus?

Tabel 4.1 – Enkele factoren die het Operational Design Domain mee bepalen



Figuur 4.4 – Voorbeeld van ISAD-levels, toegewezen aan een wegennetwerk (Inframix, 2017)

4.3 Maatschappelijke evoluties / beleid

De meerwaarde van autonome voertuigen in een toekomstig duurzaam mobiliteitsbeleid is een boeiend thema. Het potentieel om autonome voertuigen te gebruiken als **hefboom** voor een 'andere mobiliteit' wordt door sommige experts naar voren geschoven als een mogelijke oplossing voor de huidige mobiliteitsproblemen (congestie, verkeersonveiligheid, milieuvuiling). Mogelijk staat de maatschappij voor drastische veranderingen. Sommige steden werken pragmatisch mee aan testprojecten en maken de evaluatie mee op.

Een vergaande succesvolle introductie van CAV vergt enerzijds een voortzetting van beleidsonderzoek en evaluaties van projecten. Anderzijds is inzicht in de maatschappelijke aspecten rond autonome voertuigen en de ermee samenhangende digitalisatie van de samenleving nuttig.

4.3.1 Beleidsonderzoek en evaluaties van projecten

Onderzoek naar **cost & benefit** van de invoering van autonome voertuigen in het vervoerssysteem is relevant:

- § 2.2 Doelstellingen. ⁶⁸
- In beleidsdocumenten staan verschillende doelstellingen met voordelen en nadelen⁶⁸. Er is veelal gebrek aan objectieve resultaten, en er zijn tegenstrijdigheden. Het is de taak van onderzoekers, met medewerking van wegbeheerders, om analyses uit te voeren, onzekerheden te beperken en nuances aan te brengen. Met het bijkomende onderzoek kan ook een **realistischer beeld** worden geschetst van de verwachtingen over autonome voertuigen.
 - Bij de **afstemming** tussen wegbeheerders, automobielconstructeurs (functionaliteiten van voertuigen), en digitale serviceproviders in onderzoeksprojecten, is de **betrokkenheid van de burgers** een cruciaal aspect. Het gaat daarbij zowel om de eindgebruiker (de personen die gebruik maken van autonome voertuigen) als degene die op de (openbare) weg in aanraking komen met de autonome voertuigen (vooral: al dan niet geconnecteerde voetgangers en fietsers). **Acceptatie** van autonome voertuigen door gebruikers en niet gebruikers is een essentieel onderzoeksterrein.
 - **Projecten** met CAV kunnen ook tussentijds worden geëvalueerd. Die **evaluaties** kunnen leiden tot aanpassingen van het project en toekomstige projecten beïnvloeden. Concrete acties en opties voor de wegbeheerder kunnen hiervan afgeleid worden. Afstemming met beleidsplannen zijn daarbij een aandachtspunt.

4.3.2 Samenleving

§ 4.2 (On)zekerheid en complexiteit. ⁶⁹

Op veel vlakken is nog onderzoek nodig: onderzoek ten behoeve van testen⁶⁹ en beleidsonderzoek (zie hierboven). Daarnaast is ook een meer **existentiële benadering** op zijn plaats. Het gaat dan meer om een maatschappelijke opdracht dan een technologische vraagstelling (*Society beats technology*), met in essentie ingewikkelde vragen als:

- Naar wat voor samenleving willen we streven? In wat voor soort steden willen we leven? Met veel regelgeving of veel vrijheid ('staat vs. markt')? Met nadruk op collectief of individueel vervoer, of een mix daarvan? Hoe omgaan met regionale verschillen?
- Hoe realistisch is een ontwikkeling waarin private personenauto's meer en meer aan banden worden gelegd? Zullen er steden zijn die tot een ban overgaan? Of zijn er juist steden die de gereserveerde stroken (openbaar vervoer) afschaffen?
- Welke eisen moeten we stellen aan het gebruik van robottaxi's?

Het gaat hierbij om het **scherpstellen van mogelijke toekomst** van de maatschappij in zijn geheel. Dit houdt onder meer in:

- Het betrekken van relevante stakeholders bij het bepalen van beleid (bv. mobiliteitsplannen). Dit kan via **co-creatie**, een vorm van samenwerking waarbij alle deelnemers invloed hebben op het resultaat van een proces en de weg ernaartoe.
- De mee te nemen overwegingen zijn in het bijzonder bereikbaarheid, leefbaarheid, veiligheid en inclusiviteit. Het **inclusieve denken** rond de ontwikkeling van autonome voertuigen kan waarborgen dat er terdege rekening wordt gehouden met (al dan niet geconnecteerde) actieve weggebruikers.
- Een **debat** over ruimtegebruik door verschillende vervoersmodi, de nood aan alternatieven, en de toegankelijkheid moet nog verder worden gevoerd.

- Het gaat dan over de vraag wie nog waar en wanneer van weginfrastructuur mag gebruik maken.
 - In het extreme geval gaat het over de toegang tot de stad.
 - Dit vraagt om scenariobouw⁷⁰ met verkeersmodellen en stakeholderconsultatie. In de scenario's moet aandacht zijn voor combinaties van particuliere personenauto's (al dan niet elektrisch of anderszins lokaal milieuvriendelijk), traditioneel openbaar vervoer, aanvullende shuttlediensten, robottaxi's, actieve vervoermiddelen en micromobiliteit.
 - Erg belangrijk hierbij is aandacht voor het parkeervraagstuk: is parkeren goedkoper dan rondrijden? Zo ja, welke regels zijn er nodig? Zijn er restricties per type voertuigen?
- Het bestuderen van '**best case**' en '**worst case scenario's**' op het vlak van mobiliteitsgerelateerde aspecten (bereikbaarheid, verkeersveiligheid, leefbaarheid). Meerdere studies (Backhaus, 2020; ITF, 2015) geven aan dat een ongebreidelde introductie van autonome voertuigen kunnen leiden tot meer verkeer. De vraag hierbij is tweeledig: wie kan wat doen om negatieve effecten te temperen, en welke maatregelen kunnen worden genomen om het best case scenario het meest waarschijnlijke te maken?

70

§ 4.2 (On)zekerheid en complexiteit.

4.4 Weginfrastructuur

De oorspronkelijke opzet van de tekst was om te bekijken of bepaalde aanpassingen aan infrastructuur nodig of zinvol zijn om de geleidelijke overgang naar zelfrijdende voertuigen mogelijk of gemakkelijker te maken. Logischerwijs zijn de vereisten die zelfrijdende voertuigen stellen aan infrastructuur sterk afhankelijk van de omgeving waarin die voertuigen functioneren. Om die reden werd in de tekst een opsplitsing gemaakt naar autosnelwegen en stedelijke omgeving. We voegden een deel toe over shuttles, waarvoor de testen hoofdzakelijk plaatsvinden in een beperkte omgeving.

Aangezien voor de meeste voertuigen nog gedurende ruime tijd bestuurders zelf bepaalde handelingen en correcties zullen uitvoeren, zullen **aanbevelingen voor de inrichting van verkeersinfrastructuur** (verloop van de weg, wegomgeving, weginrichting, signalisatie, kwaliteit van het wegoppervlak en duurzaamheid) nog geruime tijd rekening moeten blijven houden met deze menselijke bestuurders.

Niettemin lijken automobielconstructeurs, wetgevende initiatieven, verwachte evoluties met betrekking tot de voertuigvloot en ervaringen tijdens testen toch erop te wijzen dat voor de **weginfrastructuur aanpassingen** nodig zullen zijn om zelfrijdende voertuigen te faciliteren. Door met deze verwachtingen al rekening te houden bij de (her)aanleg van weginfrastructuur, kunnen latere aanpassingen misschien wel eenvoudiger worden. De behoeften waar autoconstructeurs vandaag de meeste nadruk leggen (zichtbaarheid en harmonisering van signalisatie) zijn sowieso ook zinvol voor menselijke bestuurders.

Wegbeheerders hebben traditioneel aandacht voor fysieke infrastructuur. De introductie van zelfrijdende voertuigen introduceert echter **nieuwe domeinen** waarvoor wegbeheerders ook aandacht moeten hebben. Een digitale voorstelling van fysieke infrastructuur (**digital twin**) kan worden gebruikt voor geleidingssystemen of als aanvulling op of alternatief voor signalisatie. In het geval GNSS-positionering (GPS, Galileo, enz.) onbeschikbaar of onvoldoende nauwkeurig is, kunnen fysieke bakens zinvol worden om (nauwkeurigere) positionering mogelijk te maken. Voor de uitwisseling van gegevens zal weginfrastructuur moeten worden aangevuld met **communicatie-infrastructuur**.

4.4.1 Signalisatie

Wegmarkeringen, verkeersborden, variabele signalisatie, verkeerslichten en andere signaleringssystemen dienen om een boodschap over te brengen aan bestuurders van voertuigen. Als voertuigsystemen de bestuurder ondersteunen of diens rijtaak overnemen, is het belangrijk dat deze boodschap ook **toegankelijk** is voor deze voertuigsystemen, en vervolgens begrepen wordt door bestuurders. Er zijn daarvoor op dit ogenblik een aantal mogelijkheden die elkaar kunnen aanvullen of als back-up kunnen dienen indien een van de mogelijkheden (tijdelijk) onbeschikbaar is.

Wagens die zijn uitgerust met sensoren dienen in staat te zijn om signalisatie te **herkennen** en te **interpreteren**. Hier komen heel wat aspecten bij kijken: signalisatie moet in alle omstandigheden detecteerbaar, zichtbaar en leesbaar zijn. Ook moeten de boodschap begrijpelijk en ondubbelzinnig zijn.

In het geval van de lagere automatiseringniveaus zal deze info worden getoond aan de bestuurder die dan wordt geacht gepast te reageren. In de hogere automatiseringniveaus, kunnen algoritmen deze boodschappen interpreteren en actief ingrijpen op het rijgedrag van de wagen.

In alle gevallen is het belangrijk dat sensoren in staat zijn deze boodschappen te onderscheiden en vervolgens ook correct te interpreteren. Maatregelen die de **zichtbaarheid van verkeersborden of wegmarkeringen** verhogen, ook in minder optimale omstandigheden, kunnen daar zeker toe bijdragen.

- Harmonisering en vereenvoudiging van deze boodschappen zal het voor voertuigsystemen gemakkelijker maken om de gedetecteerde boodschap correct te interpreteren⁷¹;
- Europese initiatieven rond signalisatie vergemakkelijken de komst van internationaal gehomologeerde CAV. Verkeersborden en wegmarkeringen die onvoldoende herkenbaar zijn en verschillen naar land of regio verhogen het risico dat CAV ze niet herkennen of begrijpen⁷²;
- Behalve zinvol voor voertuigsystemen zijn ook menselijke bestuurders gebaat bij uniforme en duidelijk zichtbare boodschappen. Taalgebonden boodschappen zouden best zoveel mogelijk vermeden worden.

Indien voertuigsensoren niet in staat zijn verkeersborden of wegmarkeringen correct te herkennen, kan dit interessante informatie zijn voor wegbeheerders. Geconnecteerde systemen kunnen de locaties waar signalisatie onvoldoende herkenbaar is doorgeven aan wegbeheerders. Deze kunnen die informatie gebruiken als alternatief voor visuele inspecties en om onderhoud te plannen. Het uitwisselen van voertuiggegevens met wegbeheerders kan op die manier bijdragen tot betere weginfrastructuur, zowel ten behoeve van zelfrijdende voertuigen als voor menselijke bestuurders.

Alternatief of aanvullend aan sensoren kunnen geautomatiseerde voertuigen ook boodschappen krijgen via **geconnecteerde systemen**.

- Een digitale voorstelling van fysieke infrastructuur bestaat in essentie uit een **gedetailleerde (digitale) kaart** die wordt verrijkt met info over de wegomgeving en de geldende (eventueel dynamische) verkeersregels.
- Via communicatiesystemen kan de kaart beschikbaar worden gemaakt in het voertuig of kan opgeslagen informatie worden geactualiseerd. Bij zulke systemen is het belangrijk dat wijzigingen van de infrastructuur of incidenten die gevolgen hebben voor het verwachte rijgedrag in **realtime** in het voertuig worden gebracht.

71

In de UNECE Group of Experts on Road Signs and Signals (onderdeel van WP on Road Traffic Safety, <https://www.unece.org/trans/main/welcwp1.html>) wordt getracht signalisatie te harmoniseren.

72

De EC Expert Group on Road Infrastructure Safety (<https://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail&groupID=3686>) onderzoekt of minimale zichtbaarheidskenmerken voor signalisatie kunnen bijdragen aan de ontplooiing van zelfrijdende voertuigen.

Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de dataveiligheid en -beveiliging van het voertuig, alsmede de werking van zijn functies.

- In eerste instantie zal de toestand van infrastructuur allicht in kaart worden gebracht door menselijke interventie. **Aannemers** die tijdens wegenwerken de **wegconfiguratie** aanpassen kunnen gevraagd worden om deze aanpassingen door te geven. Dit moet deel uitmaken van de opdracht. Er bestaan vandaag reeds beperkte toepassingen die weggebruikers toelaten om informatie over de weginfrastructuur door te geven aan de wegbeheerder (bv. via speciale apps). Nieuwe ontwikkelingen en digitalisering op het vlak van wegconditiemetingen en wegeninventarisering kunnen in de toekomst toelaten dat ook waarnemingen door voertuigsystemen gebruikt worden om de toestand van weginfrastructuur nauwkeuriger in kaart te brengen⁷³.

Signalisatie kan ook worden uitgerust om rechtstreeks te communiceren met voertuigsystemen. **Verkeerslichten** en **variabele verkeersborden** in Vlaanderen worden vandaag reeds standaard voorzien van deze mogelijkheid of om dit later toe te voegen. Gestandaardiseerde communicatieprotocollen worden momenteel internationaal besproken.

4.4.2 Wegverloop en wegindeling

Verschillende publicaties **suggereren** dat een 100 % betrouwbare en volledig geautomatiseerde voertuigenvloot zal toelaten om de aanbevelingen voor wegverloop aan te passen. Aanbevelingen voor de geometrie die te maken hebben met het overzicht op de weg voor menselijke bestuurders zullen dan een minder dwingende rol spelen. Wegen zouden dan beter kunnen aansluiten op het natuurlijke verloop van het terrein.

De capaciteit van de wegen wordt hoger, niet door het aangepaste verloop of een andere indeling, maar door een hogere bezetting (homogenere snelheid en kleinere tussenafstand)⁷⁴. Uiteindelijk zou een situatie met louter voertuigen van SAE L5 zelfs kunnen leiden tot smallere rijstroken (met minder veiligheidsmarge) en wegen met meer capaciteit voor eenzelfde ruimtebeslag (of nieuwe wegen met een kleiner ruimtebeslag voor eenzelfde capaciteit).

Het is echter **weinig waarschijnlijk** dat er in de nabije toekomst nog **enkel volledig geautomatiseerde voertuigen** rondrijden. Het is op dit ogenblik onduidelijk hoe in een verkeerssysteem met geautomatiseerde wagens incidenten zullen worden afgehandeld. Zal dit op een veilige manier mogelijk zijn met de huidige (of in een verre toekomst aangepaste) weginrichting of zullen geautomatiseerde voertuigen blijven rekenen op bepaalde infrastructuur (pechhavens, voldoende ruimte voor interventievoertuigen tussen voertuigen in twee aanliggende rijstroken) om incidenten op een veilige manier af te handelen? We kunnen er evenwel vanuit gaan dat volledig autonome voertuigen enkel worden gehomologeerd als er afspraken zijn op welke infrastructuur deze voertuigen kunnen rekenen om incidenten veilig af te handelen.

Alle **aanbevelingen** die vandaag gelden voor wegverloop blijven dus het best **behouden**. Door bij (her)aanleg al rekening te houden met toekomstige aanpassingen kunnen ingrijpende werken later enigszins worden beperkt.

- Om bijvoorbeeld (latere) toepassing van wisselstroken of dynamische rijbaanindeling mogelijk te maken, kan worden overwogen om **fysieke scheidingen** zoveel mogelijk te vermijden, uiteraard steeds rekening houdend met bestaande aanbevelingen in verband met **verkeersveiligheid**.
- De breedtes van **pechstroken** kunnen worden aangepast om later gemakkelijk te kunnen worden omgevormd naar een spitsstrook of een volwaardige rijstrook.

73

Bv. www.xenomatrix.com. Op basis van LIDAR-techniek wordt onderzocht welke technische parameters gemeten kunnen worden (langvlakheid, dwarsvlakheid, visuele inspectie, herkenning van markering op de weg, enz.). Op lange termijn zou het mogelijk zijn om deze parameters door crowdsourcing te verzamelen (als deze technologie in autonome voertuigen zit).

74

§ 2.2.7 Wegcapaciteit.

- Ter hoogte van op- en afritten of aan **weefstroken** kan alvast plaats worden voorzien om deze later uit te breiden ten behoeve van geautomatiseerd verkeer en het vergemakkelijken van weefbewegingen.

■ 4.4.3 Wegstructuur

Het is vooralsnog onzeker of **toekomstige voertuigen** met andere aandrijvingen lichter of zwaarder zullen zijn. Op basis van de huidige evolutie van de massa van nieuwe wagens, de verwachte toename van het verkeer en de inschatting dat toekomstige voertuigsystemen mogelijk toelaten de bestaande wegcapaciteit efficiënter te gebruiken, lijkt het vandaag waarschijnlijk dat de **bezetting van een weg**, zowel door personenwagens als door vrachtverkeer, in de toekomst enkel zal toenemen.

Die hogere bezetting heeft allicht gevolgen voor de **belasting** van een wegstructuur. Een actualisering van het verkeersspectrum (waarbij rekening wordt gehouden met recente of verwachte voertuigkenmerken) en een inschatting van de hoeveelheid verkeer tijdens de verwachte levensduur (rekening houdend met een eventueel wijzigende bezetting van de weg) kan mogelijk aanleiding zijn voor andere eisen voor de wegopbouw. Door de hogere bezetting zal **onbeschikbaarheid van een weg** door wegwerkzaamheden of ongevallen bovendien ook onvermijdelijk grotere gevolgen hebben voor de mobiliteit.

Wegstructuren die beter weerstaan aan hogere belastingen en snelle reparatietechnieken lijken in belang enkel toe te nemen. Sowieso hebben ook **gewone weggebruikers** hier baat bij.

■ 4.4.4 Wegoppervlak

De huidige generatie **voertuigensoren** en **algoritmen** kan gebreken in het wegoppervlak met wisselend succes detecteren en succesvol afhandelen. Grotere oppervlakgebreken blijven voorlopig nog een probleem en leiden er al eens toe dat een zelfrijdend voertuig (in dit geval shuttle) stopt.

Bovendien speelt het wegoppervlak ook een rol bij het **energieverbruik** en het **rijcomfort**. Beide aspecten zijn niet uitsluitend verbonden aan zelfrijdende voertuigen, maar worden wel belangrijker voor elektrische voertuigen (bereik, verbruik) en voor de passagiers van zelfrijdende voertuigen (bv. shuttles).

Het lijkt vooralsnog niet nodig om de bestaande aanbevelingen voor wegoppervlakken aan te scherpen. Het is daarentegen wel zinvol om erop toe te zien dat de **verwachte wegdekkwaliteit** effectief wordt behaald en behouden. In die zin is het zinvol in te zetten op kwaliteitsvolle en duurzame reparatietechnieken.



Gebreken aan de rand van de rijbaan kunnen aanleiding zijn tot moeilijkheden bij het positioneren van een AV op zijn rijvak (Van Geem et al., 2020)

Bitumenafzetting/zweten/langsvoegen kunnen (o.m. bij minder gunstige weersomstandigheden) foutief gedetecteerd worden als rijstrookbegrenzing (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap [MVG], Administratie Wegen en Verkeer [AWV] & Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw [OCW], 2001)



Figuur 4.5 – Oppervlakgebreken kunnen hinderlijk zijn voor het functioneren van zelfrijdende voertuigen



Hoofdstuk 5 Achtergrondinfo

5.1 Relevante regelgeving

5.1.1 Europa

Zie de tabel op bladzijde 72.

5.1.2 België

Zie de tabel op bladzijde 73.

			Type wetgeving	Wetgeving	Beschrijving	Link	
De Europese ITS richtlijn			Framework directive	2010/40/EU	Beschrijft het kader waarbinnen intelligente transportsystemen uitgerold dienen te worden in het domein wegverkeer, alsmede de interfaces met andere transportmodi. De richtlijn omvat vier prioriteitsgebieden en 6 prioritaire acties. Deze geven elk de prioriteiten aan die door de Europese Commissie naar voor geschoven worden. EU-lidstaten zijn verplicht om de voortgang van de implementatie periodiek te rapporteren. Sommige items worden opgelegd door de EU, voor andere items geldt dat indien de lidstaat deze dienst wil implementeren, men gebonden is aan een vooraf gedefinieerde werkwijze.	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040	
EU WETGEVING	6 ITS directive Priority actions	a	Multimodal Travel Information Services (MMTIS)	Delegated Regulation	2017/1926	Beschrijft wat er dient verwezenlijkt te worden met betrekking tot het voorzien van EU-brede multimodale reisinformatiediensten.	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2017/1926/oj
		b	Real-Time Traffic Information Services (RTTI)	Delegated Regulation	962/2015	Beschrijft wat er dient verwezenlijkt te worden met betrekking tot het voorzien van EU-brede realtimeverkeersinformatiediensten.	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32015R0962
		c	Road safety related minimum universal traffic information free of charge to users (SRTI)	Delegated Regulation	886/2013	Beschrijft de nodige gegevens en procedures voor het aanbieden, waar mogelijk, van minimale universele verkeersveiligheidsinformatie die kosteloos is voor de gebruikers.	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0886
		d	eCall	Delegated Regulation	305/2013	Beschrijft hoe de geharmoniseerde voorziening van een interoperabel eCall-systeem EU-breed dient te gebeuren.	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0305
		e	Information services for safe and secure parking places for trucks and commercial vehicles	Delegated Regulation	885/2013	Beschrijft hoe verstrekken van informatiediensten voor veilige en beveiligde parkeerplaatsen voor vrachtwagens en bedrijfsvoertuigen dient te gebeuren.	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0885
		f	Reservation services for safe and secure parking places for trucks and commercial vehicles		On hold	Ontwikkelingen naar een Gedelegeerde Verordening met betrekking tot reservatiediensten voor beveiligde parkeerplaatsen voor vrachtwagens en bedrijfsvoertuigen werden on hold gezet wegens een te lage interesse bij de lidstaten.	
EU cybersecurity Act			Regulation	2019/881	The EU Cybersecurity Act revamps and strengthens the EU Agency for cybersecurity (ENISA) and establishes an EU-wide cybersecurity certification framework for digital products, services and processes.	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/881/oj	
General Data Protection Regulation			Regulation	2016/679	Regulation on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data.	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj	
Revised General Safety Regulation			Regulation	2019/2144	Type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users.	https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2144/oj	

Tabel 5.2 – Relevante regelgeving (nationaal)

	Type wetgeving	Nummer Wetgeving	Beschrijving	Link	
Belgische wetgeving	Wet tot creatie van het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen	Omzetting framework directive	53-2943	Dit omvat de omzetting van de Europese kaderrichtlijn in Belgische wetgeving.	https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2013081735&table_name=wet
	Samenwerkingsakkoord betreffende de Richtlijn 2010/40/EU tussen de gewesten en de federale overheidsdienst mobiliteit	Samenwerkingsakkoord	C-2016/14240	Samenwerkingsakkoord betreffende de 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.	https://reflex.raadvst-consetat.be/reflex/pdf/Mbbs/2016/08/12/134026.pdf
	Belgische code of practice voor testen met (semi-)autonome voertuigen op de openbare weg	Richtsnoer (geen wetgeving)	n.v.t.	Dit is geen wetgeving, maar een kader dat de rollen en de verantwoordelijkheden vastlegt alsook een manier van samenwerken voor testen die uitgevoerd worden met voertuigen van hogere vormen van automatisatie op de openbare weg.	https://mobilit.belgium.be/nl/wegverkeer/voertuigen_en_onderdelen/intelligente_vervoerssystemen_its/semi_autonome_voertuigen
Vlaanderen	Decreet betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen	Omzetting EU kaderrichtlijn	Publicatie: 2013-04-16 Numac: 2013035341	Decreet betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen (1).	http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article_body.pl?language=nl&caller=summary&pub_date=13-04-16&numac=2013035341
	Besluit van de Vlaamse Regering betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen	Beslissing Vlaamse Regering	Publicatie: 24/07/2013 Numac: 2013035655	Besluit van de Vlaamse Regering betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen.	http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article_body.pl?language=nl&caller=summary&pub_date=13-07-24&numac=2013035655
	Geconnecteerde en geautomatiseerde mobiliteit in Vlaanderen	Bisconceptnota (geen wetgeving)	VR 2018 0203 DOC.0194/1BIS	Bisconceptnota aan de Vlaamse Regering met betrekking tot CCAM.	https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/conceptnota_-_geconnecteerde_en_geautomatiseerde_mobiliteit_in_vlaanderen.pdf

5.2 Definities / Afkortingen

ABS	A nti-lock B raking S ystem
ACC	A daptive C ruise C ontrol
AD	A utomated D riving
ADAS	A dvanced D river A ssistance S ystem
AEB	A utonomous E mergency B raking
AEBS	A dvanced E mergency B raking S ystem
AI	A rtificial I ntelligence
AWV	A gentschap W egen en V erkeer (B)
BHG	B russels H oofdstedelijk G ewest
BIM	B uilding I nformation M odelling
CACC	C onected A daptive C ruise C ontrol
CAV	C onected and A utonomous V ehicles
CCAM	C onected C ooperative A utomated M obility
CEDR	C onference of E uropean D irectors of R oads [CEDR]
C-ITS	C ooperative I ntelligent T ransport S ystems
C-ITS Day 1 Services	Agreed list of services with mature technology and expected societal benefits (zie verder)
C-ITS Day 1.5 Services	Mature and desired services which are still missing complete specifications and/or standards (zie verder)
DAS	D river A lert S ystems
DFM	D river F atigue M onitor
EDR	E vent D ata R ecorder

EV	E lectric V ehicle
GNSS	G lobal N avigation S atellite S ystem
GPS	G lobal P ositioning S ystem (US)
ISA	I ntelligent S peed A daptation
ITS-G5	<i>Short range</i> -communicatie op de 5.9 GHz-band
iVRI	I ntelligente V erkeers r egelin s tallaties
KPI	K ey P erformance I ndicator
LDWS	L ane D eparture W arning S ystem
LED	L ight- e mitting D iode
LEZ	L age- E missie Z one
LKS	L ane K eeping S ystems
LKA	L ane K eeping A ssistance
LTE-V2X	L ong- T erm E volution V ehicular T o X (Concurrerend communicatieprotocol)
MaaS	M obility a s a S ervice
MMTIS	M ultimodal T ravel I nformation S ervices
NOx	N itrogen O xides
ODD	O perational D esign D omain
PM	P articulate M atter
PMB	P ersonen met B eperkte M obiliteit (B)
PN	P article N umber

PUDO	Zones for P icking U p and D ropping O ff passengers
RTTI	R ea T - T ime T raffic I nformation S ervices
RWS	R ijkswaterstaat (NL)
RWW	R oad W orks W arning
SAE	S ociety of A utomotive E ngineers (US)
SAM	S hared A utonomous M obility
SMMT	The S ociety of M otor M anufacturers and T raders Limited
SPW	S ervice P ublic de W allonie (B)
SRTI	S afety R elated T raffic I nformation
V2I	V ehicle t o I nfrastructue
V2P	V ehicle t o P edestrian
V2X	V ehicle t o E verything
V2V	V ehicle t o V ehicle
VMS	V ariable M essage S igns
VRI	V erkeersregelin I nstallatie
VWI	V ademecum W eginfrastructuur (AWV)
ZEZ	Z ero E mission Z one
ZRA	Z elfrijdende a uto
5G	5 e G eneratie mobiele netwerk

Tabel 5.3 – Afkortingen

5.3 Testen: testsites & Living Labs (EU)

5.3.1 België

De FOD Mobiliteit en Vervoer stelde in overleg met partners (gewestelijke overheidsdiensten, sectorfederaties Agoria vzw en Febiac vzw, BIVV vzw (huidig: Vias Institute) in 2015/2016 een **gedragscode** op voor testen in België (FOD Mobiliteit en Vervoer, 2016b).

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

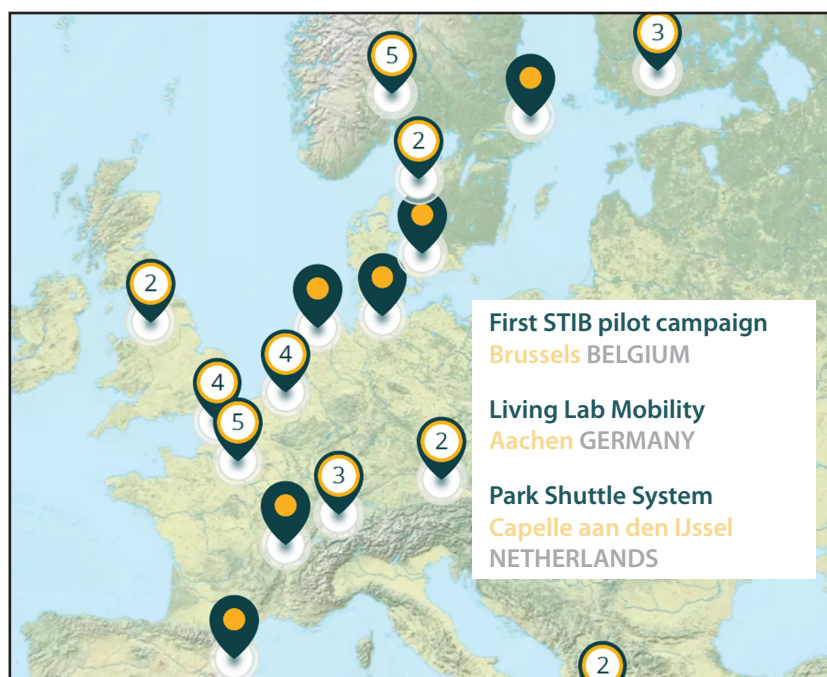
- Het testen van rijhulpsystemen en gedeeltelijk of zelfs volledig geautomatiseerde voertuigtechnologieën op de openbare weg of op andere openbare plaatsen in België;
- Het testen van een breed scala aan voertuigen, van kleinere geautomatiseerde pods en shuttles tot de traditionelere wegvoertuigen zoals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

Testen (niet limitatieve lijst)

- E313 (B, geassocieerd met InterCor-project);
- FORD testbaan in Lommel (B) aangeduid als mogelijk interessant voor bepaalde testen (in het bijzonder gedrag van voertuigen op verschillende wegooppervlakken, *vehicle probe data*);
- Shuttlebus Han-sur-Lesse (VIAS Institute & Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer [FOD Mobiliteit en Vervoer], 2018);
- Navajo, Louvain-la-Neuve;
- Brussels Airport Company & De Lijn, Zaventem;
- SAM-e, Parc Woluwe / Solvay Campus / Brugmann ziekenhuis;
- Maria Middelaars ziekenhuis, Gent;
- UZ Brussel;
- VUB Hospital campus, Brussel.

5.3.2 Wereldwijd (overzicht)

- *Shared Personalized Autonomous Connected vEhicles project* (<https://space.uitp.org>) SPACE werd door UITP gelanceerd in maart 2018 met als doel het openbaar vervoer centraal te stellen in de revolutie van automatische voertuigen (AV's);
- De website geeft een overzicht van bestaande testen en toekomstige concepten, verdeeld naar verschillende habitat: *rural - low density, small isolated city, suburban en urban (high density)*;
- De Lijn, de MIVB en de VUB maken deel uit van de 50 projectpartners (open voor alle partners van UITP).



Figuur 5.1 – Uitsnede van de Progress map van autonome ov-initiatieven (UITP, s.d.)

5.3.3 Europa

- Cooperative C-ITS Corridor (A, D, NL, <https://intercor-project.eu>): Road Works Warning, Sensor Data from Vehicles;
- Dutch Integrated Test Site for Cooperative Mobility Setting (NL, Helmond): deel van N270 en A270 uitgerust met camera's met detectie en voertuigtracking en ITS-G5 services;
- A9 Autobahn (D): Digital Motorway test bed. Testen van V2V- en V2I-technologie;
- UK Cite (GB, www.ukcite.co.uk) openbare weg uitgerust met relevante infrastructuur en beschikbaar voor V2X-communicatietesten;
- Corridor Rotterdam – Frankfurt/Wenen (NL & D, <https://c-its-korridor.de/>) RWW en gebruik voertuigdata voor verkeersbeheer;
- New generation ParkShuttle in Rotterdam region (Capelle aan den IJssel), <https://www.2getthere.eu>;
- A12 in Tirol (A): Testen van Coöperatieve systemen;
- AstaZero (S, www.astazero.com) dedicated test site which simulates different traffic environments (highway, urban, rural) and which allows to simulate different traffic scenarios and incidents;
- Stora Holm testsite (S, www.storaholm.se);
- DriveMe (S): Volvo project op de ring van Göteborg (suburban, 70 km/u, geen voetgangers, veel gescheiden verkeersstromen). Geen specifieke installaties, testen van rijondersteunende systemen (ADAS, no connectivity);
- Tre VTT (FIN, www.vttresearch.com) focus op automation scenarios in stedelijke omgeving;
- Nordicway (DK, <http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Pages/Default.aspx>) testen van C-ITS services;
- Shuttlebus La Défense, Parijs (F, <https://www.transportshaker-wavestone.com/la-navette-autonome-la-conquete-de-la-defense/>);
- Shuttlebus Lyon, (F, <https://www.keolis.com/en/our-services/transport-solutions/autonomous-shuttles>);

- Transpolis (F, www.transpolis.fr) nieuwe testsite met gesimuleerde stedelijke omgeving om nieuwe technologieën te testen;
- Scoop (F, <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-transport/2014-eu-ta-0669-s>) met 3 000 communicerende voertuigen op 2 000 km met elkaar verbonden wegen, validatie van C-ITS services;
- Siscoga (E, Spaanse testsite).

5.3.4 Projecten

- Arcade platform, <https://knowledge-base.connectedautomateddriving.eu/>;
- Avenue, Autonomous vehicles for Public Transportation Services, <https://h2020-avenue.eu/>;
- CoEXist, Working towards a shared road network, <https://www.h2020-coexist.eu/>;
- Concorda, Connected Corridor for Driving Automation, <https://connectedautomateddriving.eu/project/concorda/>;
- DIRIZON, <https://www.dirizon-cedr.com/>;
- DRAGON, DRiving Automated vehicle Growth On National roads, <https://www.cedr.eu/strategic-plan-tasks/research/cedr-call-2014/call-2014-mobility/>;
- Inframix, <https://www.inframix.eu/>;
- Intercor, Interoperable Corridors deploying cooperative intelligent transport systems, <https://intercor-project.eu/>;
- Levitate, Societal Level Impacts of Connected and Automated Vehicles, <https://levitate-project.eu/>;
- Mediator, <https://www.swov.nl/en/news/mediator-european-research-autonomous-vehicles>;
- RIMA, Robotics for Inspection and Maintenance, <https://rimanetwork.eu/>;
- Skillful, <https://skillfulproject.eu/>;
- STAPLE, Site Automation Practical Learning, <https://www.stapleproject.eu/>;
- TransAID, Transition areas for infrastructure-assisted driving, <https://www.transaid.eu/>;
- Drive 2 the future, <https://www.drive2thefuture.eu/>;
- SHOW, SHared automation Operating models for Worldwide adoption, <https://show-project.eu/>;
- Autonomous Shuttle Service for the Brussels Health Campus, <http://www.avlab.brussels>.



Figuur 5.2 – Test zelfrijdende shuttle op Brussels Health Campus (Vrije Universiteit Brussel [VUB], 2019)



Hoofdstuk 6

Literatuur

- 3M. (2019, mei 15). Machine vision and contrast: How automated vehicles see the roads. *Intertraffic*. Opgehaald van <https://www.intertraffic.com>
- Ackermann, T. (2017, november). *The MEGAFON study and PTO's future roles*. Presentation for the Progress event of Mobility 4.0: Public transport at the heart of the transition, Brussel, België. Opgehaald van <http://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/Presentations/RDV-2017/Till-Ackermann.pdf>
- Adapting infrastructure for a driverless future. (2016, oktober 1). *WSP*. Opgehaald van <https://www.wsp.com/en-GL>
- Adventure Cycling Association. (s.d.). *Road weary: When technology & engineering fails cyclists* [Presentatie]. Opgehaald van https://ecf.com/sites/ecf.com/files/Sullivan.V_Road_Weary_When_Technology_and_Engineering_Fails_Cyclists.pdf
- Albright, B. (2017, maart 7). Self-driving vehicles will impact service, logistics industries. *Field Technologies Online*. Opgehaald van <https://www.fieldtechnologiesonline.com/>
- Alpha SQUAD official. (2018, september 12). *BMW self riding motorcycle: BMW autonomous driving bike/BMW self riding bike/BMW R 1200 GS* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XMuMoZIVYqs>
- Ambrosius, E. (2018, december). *Autonomous driving and road markings*. Presentatie op het IRF & UNECE ITS event on governance and infrastructure for smart and autonomous mobility, Genève, Zwitserland. Opgehaald van https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp29grva/s1p5._Eva_Ambrosius.pdf
- Arcadis. (2018). *Citizens in motion: Who's driving your future?*. Opgehaald van <https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/connected-and-autonomous-vehicles/citizens-in-motion/>
- Autonome voertuigen: Nieuw paard van Troje? [Blog post]. (s.d.). Opgehaald van <https://www.mobiel21.be/blog/autonome-voertuigen>
- Backhaus, W. (2020, maart). *Strengthening capacities of road authorities to plan for the transition phase of co-existence of conventional and connected and automated vehicles*. Presentatie op het joint dissemination of H2020, CEDR projects and other initiatives related to CAVs and infrastructure event, Brussel, België. Opgehaald van <https://www.fehrl.org/>
- Bannon, E. (2016, november 13). Lessons from Norway's electric surge. *Transport & environment (TE)*. Opgehaald van <https://www.transportenvironment.org>
- Besluit van de Vlaamse Regering van 5 juli 2013 betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen*. (2013, juli 24). (Numac No 2013035655). Opgehaald van <https://www.etaamb.be/nl/index.html>

- Blue Planet Studio. (s.d.). *Concept de technologie de transport intelligente pour le futur trafic automobile sur route: Le système intelligent virtuel effectue une analyse numérique de l'information pour connecter les données du véhicule sur la rue de la ville: Innovation futuriste* [Stockfoto]. Shutterstock. Opgehaald van <https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/smart-transport-technology-concept-futurecar-1784203961>
- Bösch, P.M., Becker, F., Becker, H. & Axhausen, K.W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport policy*, 64, 76-91. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.transpol.2017.09.005>
- Brown, T. (2018). The last mile to automation: How autonomous vehicles could solve the last mile delivery problem. *IT chronicles*. Opgehaald van <https://itchronicles.com>
- Brussel Mobiliteit. (2019, oktober 24). Good Move: De eerste resultaten van het onderzoek zijn er!. *Good Move*. Opgehaald van <https://goodmove.brussels/nl>
- Brussel Mobiliteit, VIAS Institute & Wikibus. (2017, oktober). *Workshop zelfrijdende voertuigen: Samenvatting, Spa-Francorchamps, België*. Opgehaald van <https://goodmove.brussels/nl/beleidslijnen>
- Brussels Airport & De Lijn. (2018, april 20). *Brussels Airport en De Lijn starten proefproject met zelfrijdende bus: Begin 2020 test op terreinen luchthaven* [Persbericht]. Opgehaald van <https://delijn.prezly.com/brussels-airport-en-de-lijn-starten-proefproject-met-zelfrijdende-bus>
- Brussels Hoofdstedelijk Gewest. (2019). *Plan énergie climat 2030: The right energy for your Region* (definitieve versie). Opgehaald van https://leefmilieu.brussels/sites/default/files/user_files/pnec_rbc_nl.pdf
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2002-2010). *Afscherpende constructies voor wegen* (NBN EN 1317[-1-3]: 2010; NBN ENV 1317-4: 2002). Brussel: Auteur.
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2019). *Passive safety and support structures for road equipment: Requirements and test methods* (NBN EN 12767: 2019). Brussel: Auteur.
- BV. (2020, april 22). Stuttgart schaft diesilverbod af: Hoe corona een boom onder de lage-emissiezone legt. *Auto55*. Opgehaald van <https://www.auto55.be/>
- C-ITS Platform. (2016). *C-ITS Platform: Final report*. Opgehaald van <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- Carlson, P. (2019, januari 1). How automated vehicles will change pavement marking. *ForConstructionPros.com*. Opgehaald van <https://www.forconstructionpros.com>
- Carreras, A., Daura, X., Erhart, J. & Ruehrup, S. (2018, September). *Road infrastructure support levels for automated driving*. Paper voor het 25th ITS world congress on quality of life, Kopenhagen, Denemarken. Opgehaald van https://www.inframix.eu/wp-content/uploads/ITSWC2018-ASF-AAE-Final-paper_v4.pdf
- Carter, J. (2019, October 30). Zombie technologies of electric vehicles: Wireless charging. *Electric autonomy Canada*. Opgehaald van <https://electricautonomy.ca>
- CFO Redactie. (2016, mei 27). Scenario-based planning: De grip op onzekerheid versterken. *CFO*. Opgehaald van <https://cfo.nl>

- Chen, F., Balieu, R. & Kringos, N. (2017, juni). *Sustainable implementation of future smart road solutions: A case study on the electrified road*. In A. Loizos, I.L. Al-Qadi & A. Scarpas (Eds.), *Proceedings of the 10th international conference on the bearing capacity of roads, railways and airfields (BRRCA 2017)*, Athene, Griekenland (pp. 2201-2207). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Clapaud, A. (2017, mei). *Qui dit voiture autonome dit route intelligente*. L'atelier BNP Paribas: Smart city. Opgehaald van <https://www.aiffr.fr>
- Claeys, T. (2018, november 27). Is er ruimte voor autonome voertuigen binnen stadslogistiek?: VIL onderzoekt potentieel van zelfrijdende voertuigen als pakjesbezorgers. *Value chain*. Opgehaald van <https://www.valuechain.be/>
- Clément-Werny, C., Belloche, S., Ferrando, J., Mathieu, Y. & Durand-Fleury, T. (2019). *Véhicules et mobilités autonomes: Quelles attentes citoyennes pour demain?* (Connaissances CEREMA). Bron, France: Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA).
- Concorda pilot Amsterdam in volle gang. (2019, september 30). *Praktijkproef Amsterdam*. Opgehaald van <https://www.praktijkproefamsterdam.nl/actueel/nieuws/concorda-pilot-amsterdam-volle-gang>
- Conference of European Directors of Roads (CEDR). (s.d.). *MANTRA: Making full use of automation for national transport and road authorities: NRA core business*. Opgehaald van <https://www.mantra-research.eu/>
- Continental. (2019, januari 8). *Continental's vision: Seamless mobility combines autonomous shuttles and delivery robots* [Persbericht]. Opgehaald van <https://www.continental.com/en>
- Corot, L. (2017, juli 11). Renault va faire communiquer la voiture avec les bornes de péage. *L'usine nouvelle*. Opgehaald van <https://www.usinenouvelle.com>
- Couplez, V. (2019, september 17). Vrachtwagens voor de werf steeds lichter, veiliger en comfortabeler: Evolutie naar semiwerfvrachtwagens. *InfraStructure*. Opgehaald van <https://infrastructure.pmg.be/nl>
- COWI & PTV Group. (2019). *The Oslo study: How autonomous cars may change transport in cities*. Opgehaald van <https://www.cowi.com/about/news-and-press/new-report-how-self-driving-transport-will-affect-the-oslo-region>
- Créer et gérer des emplacements de stationnement réservés: Le règlement de stationnement en Région de Bruxelles-Capitale. (2019). *La CeMathèque*, (49), 27. Opgehaald van <http://mobilite.wallonie.be/home/centre-de-documentation/cematheque.html>
- Decreet van 29 maart 2013 betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen*. (2013, april 16). (Numac No 1013035341). Opgehaald van <https://www.etaamb.be/nl/index.html>
- Deelstep is door beperkte levensduur vervuilender dan andere transportmiddelen. (2020, maart 10). *Het Laatste Nieuws (HLN)*. Opgehaald van <https://www.hln.be>
- Dirnwöber, M. (2018, november). *Inframix: Road infrastructure ready for mixed vehicle traffic flows*. Presentatie op de European conference on results from road transport research, Brussel, België. Opgehaald van <https://www.inframix.eu/wp-content/uploads/H2020RTR-nov-2018-INFRAMIX.pdf>

- Dunkerley, F., Whittaker, B., Laird, J. & Daly, A. (2018). *Latest evidence on induced travel demand: An evidence review*. Opgehaald van the Assets Publishing Service, UK Government website: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/762976/latest-evidence-on-induced-travel-demand-an-evidence-review.pdf
- Duvall, T., Hannon, E., Katseff, J., Safran, B. & Wallace, T. (2019, mei 22). A new look at autonomous-vehicle infrastructure. *McKinsey & Company*. Opgehaald van <https://www.mckinsey.com>
- Erhart, J. (2018, september). *Road infrastructure support levels for automated driving*. Presentatie op het 25th ITS world congress on quality of life, Kopenhagen, Denemarken. Opgehaald van <https://www.inframix.eu/presentations/>
- ERTRAC Working Group «Connectivity and Automated Driving». (2017). *Automated driving roadmap* (versie 7.0, finale). Opgehaald van <https://www.ertrac.org>
- EU wijst voorstel wifi-gebaseerde standaard voor verbonden auto's af. (2019, juli 8). *Techzine*. Opgehaald van <https://www.techzine.be>
- European Automobile Manufacturers Association (ACEA). (2019). *Automated driving: Roadmap for the development of automated driving in the European Union*. Opgehaald van https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Automated_Driving_Roadmap.pdf
- European Automobile Manufacturers Association (ACEA) & European Association of Automotive Suppliers (CLEPA). (2019). *Perspectives of the European automotive industry on future C-ITS spectrum needs for cooperative, connected and automated mobility* (ACEA-CLEPA Paper). Opgehaald van https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA-CLEPA_paper-Spectrum_needs-November_2019.pdf
- European Commission (EC). (s.d.). *New safety features in your car*. Opgehaald van <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34588/attachments/1/translations/en/renditions/native>
- European Commission (EC). (2019). *Continuously open call for applications for the selection of members of the «single platform for open road testing and pre-deployment of cooperative, connected, automated and autonomous mobility»* (version 1.0). Opgehaald van https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2019-02-26-call-applications-single-platform_en
- Europees Parlement: Nieuwe voertuigen uitrusten met levensreddende technologie. (2019, april 16). *Nieuws Europees Parlement*. Opgehaald van <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/press-room/20190410IPR37528/europees-parlement-nieuwe-voertuigen-uitrusten-met-levensreddende-technologie>
- European Commission (EC). (2016a, april 19). *De digitalisering van het Europese bedrijfsleven: De voordelen van een digitale eengemaakte markt ten volle benutten* (Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's No COM[2016] 180, final). Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- European Commission (EC). (2016b, november 30). *Een Europese strategie betreffende ITS, op weg naar de introductie van coöperatieve, communicerende en geautomatiseerde voertuigen* (Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's No COM[2016] 766, final). Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- European Commission (EC). (2018, mei 17). *Op weg naar geautomatiseerde mobiliteit: Een EU-strategie voor de mobiliteit van de toekomst* (Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, Het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's No COM[2018] 283, final). Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- European Commission (EC), Innovation and Networks Executive Agency (INEA). (2019). *Automated road transport: On the way to connected and automated mobility: Horizon 2020*. Opgehaald van https://ec.europa.eu/inea/sites/inea/files/art_brochure-2019.pdf
- European Road Federation (ERF). (s.d.). *Recommendations to define the technical performance of road markings: Supporting scientific literature*. Opgehaald van <https://erf.be/press-releases/recommendations-to-define-the-technical-performance-of-road-markings/>
- European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC). (2019a). *Connected automated driving roadmap* (versie 8). Opgehaald van <https://www.ertrac.org>
- European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC). (2019b, april 4). *Connected automated driving roadmap: 2019 update*. Presentatie op de ERTRAC conference, Brussel, België. Opgehaald van <https://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC2019-Connected-Automated-Driving-Roadmap%20-2019-04-04.pdf>
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (2019). *Intelligent transport system (ITS): Vulnerable road users (VRU) awareness. Part 1: Use cases definition: Release 2* (ETSI Technical Report No ETSI TR 103 300-1, V2.1.1). Opgehaald van https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103_300_103399/10330001/02.01.01_60/tr_10330001v020101p.pdf
- Faggella, D. (2020, maart 14). The self-driving car timeline: Predictions from the top 11 global automakers. *Emerj*. Opgehaald van <https://emerj.com>
- Faludi, A. (1973). *Planning theory* (Urban and Regional Planning Series, 1st edition). Oxford: Pergamon Press.
- Farah, H. (2016). *State of the art on infrastructure for automated vehicles: Research report summarizing the scientific knowledge, research projects, test sites, initiatives, and knowledge gaps regarding infrastructure for automated vehicles*. Opgehaald van de TUDelft website: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:27b22b96-159b-4c45-bcca-b0fefc9969be?collection=research>
- Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology & Federal Agency for Technological Measures (austriatech). (2019, november). *Results report of the 4th high level meeting on automated & connected mobility «beyond SAE levels: Towards safe & sustainable mobility»*, Wenen, Oostenrijk. Opgehaald van <https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/9b75e638e4/High-Level-Meeting-on-Automated-and-Connected-Mobility-Report-2019.pdf>
- Federal Service for Mobility and Transport (2020, februari). *Legal framework for the introduction of autonomous buses in Belgium: Vision of the Federal Service for Mobility and Transport*. Presentation on the ITS.be workshop autonomous shuttles, s.l. Opgehaald van <http://www.its.be/sites/default/files/SPF%20mobility.pdf>
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer (FOD Mobiliteit en Vervoer). (s.d.). *Personen met een beperkte mobiliteit*. Opgehaald van <https://mobilit.belgium.be/nl/pbm>

- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer (FOD Mobiliteit en Vervoer). (2016a). Samenwerkingsakkoord van 15 juli 2014 betreffende de 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. *Belgisch Staatsblad*, 12.08.2016 (Ed. 2), C – 2016/14240, 52061-52063. Opgehaald van <https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/welcome.pl>
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer (FOD Mobiliteit en Vervoer). (2016). *Autonome voertuigen: Gedragscode voor testen in België*. Opgehaald van https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/resources/files/code_of_practice_en_2016_09.pdf
- Fernique, L. (s.d.). Grand livrable la vie robomobile 2018. *Mobilité intelligente (M3.0)*. Opgehaald van <https://www.mobilite-intelligente.com>
- Feys, M., Rombaut, E., Macharis, C. & Vanhaverbeke, L. (2020, november). *Understanding stakeholders' evaluation of autonomous vehicles in fleets of shared vehicles and integrated with public transport services in an urban setting* [Paper ingediend voor publicatie]. IEEE Forum on integrated and sustainable transportation system (ISTS 2020), Delft, Nederland.
- Filippi, A., Moerman, K., Daalderop, G., Alexander, P.D., Schober, F. & Pfliegl, W. (s.d.). *Ready to roll: Why 802.11p beats LTE and 5G for V2x* [white paper]. Opgehaald van <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1510309207.ab5935c545ee430a94910921b8ec75f3c17bab6c.its-g5-ready-to-roll-en.pdf>
- Frederik, Jesse. (2020, februari 24). Your car has a weight problem and we need to regulate it. *The Correspondent*. Opgehaald van <https://thecorrespondent.com/310/your-car-has-a-weight-problem-and-we-need-to-regulate-it/41009665950-d1c675d3>
- Friedrich, B. (2015). *The effect of autonomous vehicles on traffic*. In M. Maurer, C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Eds.), *Autonomous driving: Technical, legal and social aspects* (Hoofdstuk 16, pp. 317-334). Opgehaald van <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-48847-8>
- Friedrich, M. & Hartl, M. (2016). *Schlussbericht MEGAFON: Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs*. Opgehaald van the University of Stuttgart website: https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/MEGAFON_Abschlussbericht_V028_20161212.pdf
- Fundamentele relatie. (2020). Opgehaald juni 4, 2020, van Fandom: https://verkeer.fandom.com/wiki/Fundamentele_relatie
- Gabriel12. (s.d.). *Paris, France- 2nd October, 2019: Busy mix of roadway traffic around place Saint Michel in Central Paris* [Stockfoto]. Shutterstock. Opgehaald van <https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/paris-france-2nd-october-2019-busy-1532785715>
- Gavanas, N. (2019). Autonomous road vehicles: Challenges for urban planning in European Cities. *Urban science* 3(2), 61. Opgehaald van <https://doi.org/10.3990/urbansci3020061>
- Gedelegeerde Verordening (EU) No 305/2013 van de Commissie van 26 november 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad wat de geharmoniseerde voorziening in de gehele Unie van een interoperabele eCall betreft. (2013). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L 91, 1-4. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

- Gedelegeerde Verordening (EU) No 885/2013 van de Commissie van 15 mei 2013 ter aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad met betrekking tot het verstrekken van informatiediensten voor veilige en beveiligde parkeerplaatsen voor vrachtwagens en bedrijfsvoertuigen. (2013). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L 247, 1-5. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Gedelegeerde Verordening (EU) No 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. (2013). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L247, 6-10. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- 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. (2015). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L157, 21-31. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Gedelegeerde Verordening (EU) 2017/1926 van de Commissie van 31 mei 2017 tot aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad met betrekking tot het aanbieden van EU-brede multimodale reisinformatiediensten. (2017). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L272, 1-13. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Gemeinsam Lösungen finden. (2019, mei 8). *Austriatech*. Opgehaald van <https://www.austriatech.at>
- Geneva Convention on Road Traffic. september 19, 1949. Opgehaald van <https://www.worlddriversassociation.com/pdf/CONVENTION%20ON%20ROAD%20TRAFFIC1949.pdf>
- Germanchev, A., Eastwood, B. & Hore-Lacy, W. (2019). *Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways. Module 2: Road audit* (Austroads Technical Report No AP-T348-19). Opgehaald van <https://austroads.com.au>
- Gowling WLG. (2018, August 15). How will infrastructure need to change for connected and autonomous vehicles (CAVs)?. *Lexology*. Opgehaald van <https://www.lexology.com>
- Gowling WLG & UK Autodrive. (2018). *Paving the way: Building the road infrastructure for connected and autonomous vehicles*. Opgehaald van <https://gowlingwlg.com/getmedia/af950092-954a-43ac-ad8f-b6df65734014/building-the-road-infrastructure-of-the-future.pdf.xml?ext=.pdf>
- Hagenzieker, M.P., van der Kint, S., Vissers, L., Van Schagen, I.N.L.G., de Bruin, J., van Gent, P., Commandeur, J.J.F. (2020). Interactions between cyclists and automated vehicles: Results of a photo experiment. *Journal of transportation safety & security* 12(1), 94-115. Opgehaald van <https://doi.org/10.1080/19439962.2019.1591556>
- Hannon, E., Knupfer, S., Stern, S., Sumers, B. & Nijssen, J.T. (2019). *An integrated perspective on the future of mobility. Part 3: Setting the direction toward seamless mobility* (Sustainability & Resource Productivity Practice). Opgehaald van de McKinsey & Company website: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/the%20road%20to%20seamless%20urban%20mobility/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility-part-3-vf.ashx>
- Harari, Y.N. (2018). *21 lessons for the 21st century*. London: Random House.
- Heilig, M., Mallig, N., Schröder, O., Kagerbauer, M. & Vortisch, P. (2018). Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model. *Travel behavior and society*, 12, 151-158. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.02.002>

- High Level Group on the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union (GEAR 2030). (2017). *GEAR 2030: Final report*. Opgehaald van https://ec.europa.eu/growth/content/high-level-group-gear-2030-report-on-automotive-competitiveness-and-sustainability_en
- Hill, A. (Ed.). (2019). Big ideas: What's the future of mobility going to look like? [Speciale uitgave]. *ITS International*, 25(mei/juni). Opgehaald van <http://digital.itsinternational.com/2019/global/may-jun/html5/index.html>
- Hormann, J. & Bakker, S. (2019). *Stappenplan iVRI: Handreiking voor wegbeheerders*. Opgehaald van de Kennisplatform CROW website: <https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/verkeersregelinstanties/stappenplan-ivri>
- How connectivity will make roads and cars safer in 2019. (2019, January 31). *Austriatech*. Opgehaald van <https://www.austriatech.at>
- Hughes, H. (2018, September 27). *Connected and autonomous vehicles (CAV): Implications for road authorities and TII*. Presentatie op de National Roads Conference (NRC) 2018, s.l.. Opgehaald van https://www.tii.ie/tii-library/conferences_and_seminars/
- Huizenga, R. & Berge, Ø. (2019). Oslo-studie: De impact van autonome voertuigen op het vervoer in de stad. *NM magazine*, 14(2), 28-29. Opgehaald van <https://www.nm-magazine.nl>
- I-DREAMS. (s.d.). Opgehaald van <https://idreamsproject.eu/wp/>
- Immers, B., Tampère, C. & Logghe, S. (2009). *10 verbeteropties op weg naar een performant en duurzaam transportsysteem voor België*. Opgehaald van de Belgische en Luxemburgse automobiel- en Tweewielerfederatie (FEBIAC) website: http://www.febiac.be/documents_febiac/2009/etude-touring/master%20v05.pdf
- Inframix. (2017). *Infrastructure categorization: ISAD levels*. Opgehaald van <https://www.inframix.eu/infrastructure-categorization/>
- InterCor: *Interoperable corridors deploying cooperative intelligent transport systems* [brochure]. (2020, January). Opgehaald van <https://intercor-project.eu/library/#>
- International Association of Public Transport (UITP). (s.d.). *SPACE: The road to better mobility*. Opgehaald van <https://space.uitp.org/>
- International Transport Forum (ITF). (2015). *Urban mobility system upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic* (ITF Corporate Partnership Board [CPB] Report). Opgehaald van https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf
- International Transport Forum (ITF). (2017). *Transition to shared mobility: How large cities can deliver inclusive transport services* (ITF Corporate Partnership Board [CPB] Report). Opgehaald van <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/transition-shared-mobility.pdf>
- International Transport Forum (ITF). (2018). *Safer roads with automated vehicles?* (ITF Corporate Partnership Board [CPB] Report). Opgehaald van <https://www.itf-oecd.org/safer-roads-automated-vehicles-0>
- ISO/TC 22 on Road Vehicle. (2019, januari 17). *Draft NWIP to be proposed by ISO/TC 241 on Road Traffic Safety (RTS): Ethical considerations for driverless vehicles* (No N 3842). Genève, Zwitserland: International organization for Standardization; La Plaine Saint-Denis, Frankrijk: Association Française de Normalisation (AFNOR).

- Johnson, C. (2017). *Readiness of the road network for connected and autonomous vehicles*. Opgehaald van de Royal Automobile Club Foundation for Motoring (RAC Foundation) website: https://www.racfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/CAS_Readiness_of_the_road_network_April_2017.pdf
- Kansen, M., van der Waard, J. & Savelberg, F. (2018). *Sturen in parkeren*. Opgehaald van de Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) website: <https://www.kimnet.nl/publicaties/rapporten/2018/06/18/sturen-in-parkeren>
- Kelechava, B. (2016, november 3). Defining self-driving cars and automated vehicle systems in SAE J 3016. *American National Standards Institute (ANSI)*. Opgehaald van <https://blog.ansi.org>
- Keolis. (s.d.). *Autonomous shuttles: Keolis, pioneer of the 100% electric, autonomous vehicle*. Opgehaald van <https://www.keolis.com/en/our-services/transport-solutions/autonomous-shuttles>
- Kerner, L. (2016, februari). *Are we in a tech bubble?* [Presentatie]. Opgehaald van <https://www.slideshare.net/loukerner/bubble-cartoon>
- Klochikhin, E. (2019, januari 25). *Autonomous vehicles and the hidden parking problem: Where will we park self-driving cars?*. *Medium*. Opgehaald van <https://medium.com/predict/autonomous-vehicles-and-the-hidden-parking-problem-where-will-we-park-self-driving-cars-e5f2ea1a1f0d>
- KPMG International. (2018). *Autonomy delivers: An oncoming revolution in the movement of goods*. Opgehaald van <https://advisory.kpmg.us/articles/2018/autonomy-delivers-an-oncoming-revolution-in-the-movement-of-goods.html>
- KPMG International. (2019a). *KPMG 2019 autonomous vehicles readiness index: Assessing countries' preparedness for autonomous vehicles*. Opgehaald van <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/2019-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>
- KPMG International. (2019b). *KPMG's 20th consecutive global automotive executive survey 2019: Executive summary*. Opgehaald van <https://automotive-institute.kpmg.de/GAES2019/downloads>
- Krabbendam, V. (2019, januari 17). *Consortium kiest ITS-G5 voor communicatie truck platooning*. *Zelfrijdendvervoer.nl*. Opgehaald van <https://www.zelfrijdendvervoer.nl>
- Kunert, M., Large, D., Burnett, G., Meijer, R., Paardekooper, J.-P., van Dam, E., ... & Cieslik, I. (2018). *PROSPECT: Proactive safety for pedestrians and cyclists. Deliverable D5.1: VRU motion and intent modelling, situation analysis and collision risk estimation*. Opgehaald van de CORDIS EU Research Results, Europese Commissie (EC) website: <https://cordis.europa.eu/project/id/634149/results>
- Leeb, R. (Ed.). (2019). *Mobilität 2050: Verkehrsinfrastruktur 4.0 = Mobilité 2050: Infrastructure de transport 4.0* [speciale uitgave]. *Strasse und Verkehr = Route et trafic*, 105(1-2). Opgehaald van <http://www.vss.ch/metanavigation/download/>
- Liao, F., Molin, E., Timmermans, H. & van Wee, B. (2020). *Carsharing: The impact of system characteristics on its potential to replace private car trips and reduce car ownership*. *Transportation*, 47(2), 935-970.
- Lindström, A., Van den Berghe, W., Maes, J., Machata, K., Eenink, R., Linder, Astrid, ... Fric, J. (2018). *Safety through automation?: Ensuring that automated and connected driving contribute to a safer transportation system* [Position paper]. Opgehaald van de Forum of European Road Safety Research Institutes (FERSI) website: <https://fersi.org/wp-content/uploads/2019/02/180202-Safety-through-automation-final.pdf>

- 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/
- Lohmann, R. (s.d.). Rivium business park first to introduce autonomous shuttles in mixed traffic. *2getthere*. Opgehaald van <https://www.2getthere.eu>
- Lombardo, J. (2018, januari 17). How will autonomous vehicles impact how we build roads?. *ForConstructionPros.com*. Opgehaald van <https://www.forconstructionpros.com>
- Lytrivis, P., Papanikolaou, E., Amditis, A., Dirnwöber, M., Froetscher, A., Protzmann, R., ... Kerschbaumer, A. (2018, april). Advances in road infrastructure, both physical and digital, for mixed vehicle traffic flows. In *Solutions for society, economy and environment*. Proceedings of the 7th transport research arena (TRA 2018), Wenen, Oostenrijk.
- Mannion, P. (2019, februari 10). *Vulnerable road user detection: State-of-the-art and open challenges*. Opgehaald van de arXiv, Cornell University website: <https://arxiv.org/pdf/1902.03601.pdf>
- Marchesini, P. & Weijermars, W. (2010). *The relationship between road safety and congestion on motorways: A literature review of potential effects* (SWOV Report No R-2010-12). Opgehaald van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) website: <https://www.swov.nl>
- Marks, J. (2018a, juni 5). How to ensure the safety of self-driving cars: Part 1/5. *Medium*. Opgehaald van https://medium.com/@olley_io/how-to-ensure-the-safety-of-self-driving-cars-part-1-5-2fcc891ea90b
- Marks, J. (2018b, juni 5). How to ensure the safety of self-driving cars: Part 2/5. *Medium*. Opgehaald van https://medium.com/@olley_io/how-to-ensure-the-safety-of-self-driving-cars-part-2-5-b4eafb067534
- Marks, J. (2018c, juni 5). How to ensure the safety of self-driving cars: Part 3/5. *Medium*. Opgehaald van https://medium.com/@olley_io/how-to-ensure-the-safety-of-self-driving-cars-part-3-5-73157e8de29c
- Marks, J. (2018d, juni 5). How to ensure the safety of self-driving cars: Part 4/5. *Medium*. Opgehaald van https://medium.com/@olley_io/how-to-ensure-the-safety-of-self-driving-cars-part-4-5-66ce9f24fce5
- Marks, J. (2018e, juni 5). How to ensure the safety of self-driving cars: Part 5/5. *Medium*. Opgehaald van https://medium.com/@olley_io/how-to-ensure-the-safety-of-self-driving-cars-part-5-5-1ec043d67e4f
- Martens, M. (2014, september 11). Mens en auto moeten leren samenwerken. *VerkeersNet*. Opgehaald van <https://www.verkeersnet.nl>
- Martinez, L. & Viegas, J. (2016, januari 10-14). *Concepts and impacts of new urban shared mobility alternatives: An agent-based simulation model for the city of Lisbon, Portugal*. Presentatie op de 95th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA. Opgehaald van <https://www.itf-oecd.org/concepts-and-impacts-new-urban-shared-mobility-alternatives>
- McKinsey & Company. (s.d.). *What steps must cities take to realize the full benefits of autonomous vehicles?*. Opgehaald van <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/a-new-look-at-autonomous-vehicle-infrastructure#>

- McKinsey & Company. (2016). *Automotive revolution: Perspective towards 2030: How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry*. Opgehaald van <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry>
- McNulty, J. (2019, januari 31). Mean streets: Self-driving cars will «cruise» to avoid paying to park. *ScienceDaily*. Opgehaald van <https://www.sciencedaily.com>
- Mearian, L. (2016, december 8). New Audis can now talk to traffic lights. *Computerworld*. Opgehaald van <https://www.computerworld.com>
- Metamorworks. (s.d.). *Cockpit van autonome auto: Een voertuig met zelfrijdende modus en een vrouw bestuurder ontspannen* [Stockfoto]. Shutterstock. Opgehaald van <https://www.shutterstock.com/nl/image-photo/cockpit-autonomous-car-vehicle-running-self-631212983>
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (MVG), Administratie Wegen en Verkeer (AWV) & Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). (2001). *Catalogus schade aan wegverhardingen*. Opgehaald van https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/Schadecatalogus_0.pdf
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (MVG), Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), Afdeling Expertise Verkeer en Telematica, Team Veiligheid en Ontwerp. (2018). *Vademecum weginfrastructuur (VWI). Deel autosnelwegen*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/autosnelwegen>
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (s.d.). «*Michi-no-Eki*» rest areas. Opgehaald van https://www.mlit.go.jp/road/road_e/q7_restareas.html
- Morlion, P. (2018, januari 6). Met de zelfrijdende auto krijgen onze mobiliteitsministers een historische kans op een visionair beleid [Opinie]. *Knack*. Opgehaald van <https://www.knack.be>
- Morsink, P., Klem, E., Wilmink, I. & de Kievit, M. (2016). *Zelfrijdende auto's: Ontwikkelagenda ZRA en wegontwerp* (versie 03, finale). Opgehaald van de Kennisplatform CROW website: <https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/wegontwerp/zelfrijdende-autos-verkenning-van-implicaties-op-h.aspx?ext=.pdf>
- Mouyal, N. (2018, februari 15). Harvesting energy from roads: New technologies capture ambient energy and convert it to electric power. *IEC e-tech*. Opgehaald van <https://etech.iec.ch>
- Nasir, M.K., Noor, R.M., Kalam, M.A. & Masum, B.M. (2014). Reduction of fuel consumption and exhaust pollutant using intelligent transport systems. *The scientific world journal*, 836375. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1155/2014/836375>
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2017). *Blueprint for autonomous urbanism. Module 1: Designing cities edition*. Opgehaald van <https://cdn.atlantaregional.org/wp-content/uploads/blueprint-for-autonomous-urbanism.pdf>
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2019). *Blueprint for autonomous urbanism* (Tweede uitgave). Opgehaald van <https://nacto.org/publication/bau2/>
- La navette autonome, à la conquête de La Défense. (2017, september 25). *Wavestone transportshaker*. Opgehaald van <https://www.transportshaker-wavestone.com>

- Nesnow, G. (2018, februari 9). 73 mind-blowing implications of driverless cars and trucks. *Medium*. Opgehaald van <https://medium.com/@DonotInnovate/73-mind-blowing-implications-of-a-driverless-future-58d23d1f338d>
- O'Brian, C. (2019, juli 29). The drive to dominate autonomous shuttles. *The innovator*. Opgehaald van <https://innovator.news>
- Ohern, M. (2016, mei 25). Platooning and dedicated truck lanes. *Jefferson policy journal*. Opgehaald van <https://jeffersonpolicyjournal.com/>
- Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2019). *Wie stuurt?: Verkeersveiligheid en automatisering in het wegverkeer*. Opgehaald van <https://www.onderzoeksraad.nl>
- Oster, C. (s.d.). *The nexus of AVs, bikes, and pedestrians: Similar problems, similar solutions*. Presentatie voor de University of Delaware, Joseph R. Biden, Jr. School of Public Policy & Administration, Newark, DE, USA. Opgehaald van https://ecf.com/sites/ecf.com/files/Oster.C_The_nexus_of_AVs_bikes_and_pedestrians.pdf
- Over tien jaar hebben we de zelfrijdende auto onder controle. (2018, december 24). *De Tijd*. Opgehaald van <https://www.tijd.be>
- Papanikolaou, E. (Ed.). (2018). *INFRAMIX: Road infrastructure ready for mixed vehicle traffic Flows. Deliverable D.2.1: Requirements catalogue from the status quo analysis (version 6.0)*. Opgehaald van de INFRAMIX website: <https://inframix.eu/>
- Parkin, J., Crawford, F., Flower, J., Alford, C. & Parkhurst, G. (n.d.). *Interactions of autonomous vehicles and cyclists: Results from real-world and simulator trials*. Presentatie voor de University of the West of England (UWE Bristol), Centre for Transport & Society, Bristol, UK. Opgehaald van https://ecf.com/sites/ecf.com/files/Parkin.J_Interactions_of_autonomous_vehicles_and_cyclists.pdf
- Paulsen, J.T. (2018). *Physical infrastructure needs for autonomous & connected trucks: An exploratory study* (Master thesis, Norwegian University of Science and Technology [NTNU], Trondheim, Noorwegen). Opgehaald van https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2562799/19642_FULLTEXT.pdf?sequence=1
- Perkins Coie & Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI). (2019). *2019 autonomous vehicles survey report*. Opgehaald van <https://www.perkinscoie.com>
- Pizzuto, L., Thomas, C., Wang, A. & Wu, T. (2019, januari 25). How China will help fuel the revolution in autonomous vehicles. *McKinsey & Company*. Opgehaald van <https://www.mckinsey.com>
- Puylaert, G. (2019, mei 9). Waarom wetgeving voor autonoom vervoer Europees geregeld moet worden. *Biind*. Opgehaald van <https://www.biind.nl>
- Quelle stratégie pour une réponse adéquate aux besoins?: À Londres: Des bornes de rechargement dans les réverbères. (2019). *La CeMathèque*, (49), 23. Opgehaald van <http://mobilite.wallonie.be/home/centre-de-documentation/cematheque.html>
- Raposo, A. & Ciuffo, B. (Eds.). (2019). *The future of road transport: Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility*. Opgehaald van de EU Science Hub, European Commission (EC) website: <https://ec.europa.eu/jrc/en/facts4eufuture/future-of-road-transport>

- Redactie Automobiel Management. (2019a, februari 26). Autonome auto maakt de stad leefbaarder. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Redactie Automobiel Management. (2019b, maart 4). Duitse auto-industrie investeert €60 miljard in EV en zelfrijdende auto. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Redactie Automobiel Management. (2019c, maart 11). PSA: Geen niveau 4 en 5 autonome voertuigen voor particulier. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Redactie Automobiel Management. (2019d, april 15). De autonome auto is nog ver weg. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Redactie e-Drivers. (2019, oktober 31). Inductie laden van uw elektrische auto. *E-drivers.com (ED)*. Opgehaald van <https://e-drivers.com/inductie-laden-van-uw-elektrische-auto/>
- Reglement No 79 van de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties (VN/ECE): Uniforme voorschriften voor de goedkeuring van voertuigen wat de stuurinrichting betreft (Addendum 78: Reglement 79, herziening 2). (2008). Publicatieblad van de Europese Unie, L137, 25-51. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Resolutie van het Europees Parlement van 15 januari 2019 over autonoom rijden in het Europees vervoer (No P8_TA[2019]0005). (2019). Opgehaald van https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2019-0005_NL.pdf
- 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. (2010). Publicatieblad van de Europese Unie, L207, 1-13. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Ricker, L. & Akdemir, S. (2020, februari). *Autonomous shuttle @STIB*. Presentatie voor de ITS-workshop autonomous shuttles, Brussel, België. Opgehaald van <http://www.its.be/sites/default/files/STIB.pdf>
- Robinson, T.L., Wallbank, C. & Baig, A. (2017). *Automated driving systems: Understanding future collision patterns: Development of methodology and proof of concept*. (TRL Published Project Report [PPR] No 851). Opgehaald van de Transportation Research Laboratory (TRL) website: <https://trl.co.uk>
- Rombaut, E., Feys, M. Vanobberghen, W., De Cauwer, C. & Vanhaverbeke, L. (2020, november). *Experience and acceptance of an autonomous shuttle in the Brussels Capital Region* [Paper ingediend voor publicatie]. IEEE Forum on integrated and sustainable transportation system (ISTS 2020), Delft, Nederland.
- Rosevear, J. (2018, september 6). Self-driving cars: Understanding the 6 autonomous levels. *The motley fool*. Opgehaald van <https://www.fool.com>
- Ruiz, D. (2019, mei 17). Why language matters in the self-driving revolution [Blog post]. Opgehaald van <https://blogs.terrapinn.com/highwaysuk/daniel-ruiz-chief-executive-zentic/>
- SAE International releases updated visual chart for its "levels of driving automation" standard for self-driving vehicles. (2018, december 11). *SAE International*. Opgehaald van <https://www.sae.org/>

- Sanderson, N. (2019, augustus 28). Canada's micro-mobility era is off with a bang, as provinces strive to regulate demand, safety. *Electric autonomy Canada*. Opgehaald van <https://electricautonomy.ca>
- Smolnicki, P.M. (2017, oktober). *Connected & automated urban mobility, zombie cars and kitchen knives: Will autonomous automobiles, self-driving car-sharing and ride-hailing, and driverless shuttles harm cities?*. Paper voor het 53rd ISOCARP/OAPA congress on smart communities, Portland, OR, USA. Opgehaald van <https://pdfs.semanticscholar.org/f524/d5271557269a0d565c742db0d47eaabaf77d.pdf>
- Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT). (2017). *Connected and autonomous vehicles* [SMMT position paper]. Opgehaald van <https://www.smmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/SMMT-CAV-position-paper-final.pdf>
- Somers, A. (2019a). *Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways. Module 1: Audit specification* (Austroads Technical Report No AP-T347-19). Opgehaald van <https://austroads.com.au>
- Somers, A. (2019b). *Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways. Module 3: Asset standards* (Austroads Research Report No AP-R604-19). Opgehaald van <https://austroads.com.au>
- Somers, A. (2019c). *Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways. Module 4: Emerging asset information technology* (Austroads Research Report No AP-R605-19). Opgehaald van <https://austroads.com.au>
- Somers, A. (2019d). *Infrastructure changes to support automated vehicles on rural and metropolitan highways and freeways. Module 5: Project findings and recommendations* (Austroads Research Report No AP-R606-19). Opgehaald van <https://austroads.com.au/>
- Soteropoulos, A., Berger, M. & Ciari, F. (2019). Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: An international review of modelling studies. *Transport reviews*, 39(1), 29-49. Opgehaald van <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1523253>
- Specifieke parkeerplaatsen voor deelsteps in de maak. (2019, november 19). Bruzz. Opgehaald van <https://www.bruzz.be/mobiliteit/specifieke-parkeerplaatsen-voor-deelsteps-de-maak-2019-11-19>
- Stam, K. (2020, februari). *Autonomous shuttle project* [Presentatie]. Opgehaald van <http://www.its.be/sites/default/files/maria%20middelaes.pdf>
- TED. (2015, juni 26). Chris Urmson: *How a driverless car sees the road* [Video]. Opgehaald van YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg>
- Thibault, M., Böhm, M., Ollinger, E., Hedhli, A., Patey, I, Wedlock, M., ... Botha, R. (2019). *Connected vehicles: Challenges and opportunities for road operators* (PIARC Report No 2019R11EN). Opgehaald van <https://www.piarc.org/en>
- Tillema, T., Gelauff, G., van der Waard, J., Baveling, J. & Moorman S. (2017). *Paden naar een zelfrijdende toekomst: Vijf transitiestappen in beeld* (KiM No 17-A04). Opgehaald van de Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) website: <https://www.kimnet.nl/publicaties/presentaties/2017/07/01/paden-naar-een-zelfrijdende-toekomst>
- Transport & Environment (TE). (2019, september). *Low-emission zones are a success: But they must now move to zero-emission mobility* [Briefing]. Opgehaald van <https://www.transportenvironment.org/publications>

- Transport Systems Catapult. (2017). *Future proofing infrastructure for connected and automated vehicles* (Transport Systems Catapult Technical Report, V1.1). Opgehaald van <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.ts.catapult/wp-content/uploads/2017/04/25115313/ATS40-Future-Proofing-Infrastructure-for-CAVs.pdf>
- Transportation for America (T4America). (2018). *Parking & street design: Shared active transportation playbook*. Opgehaald van <https://playbook.t4america.org/parking-street-design/>
- Treat, J.R., Tumbas, N.S., McDonald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., ... Castellan, N.J. (1979). *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Executive summary* (No DOT HS-805 099). Washington: US Department of Transportation (DOT), National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).
- Uber haalt Jump-fietsen weg uit verschillende Brusselse gemeenten wegens vandalisme. (2019, september 5). *Knack*. Opgehaald van <https://datanews.knack.be/ict>
- Uitfasering van de verbrandingsmotor (diesel- en benzinevoertuigen). (2020, mei 26). *Leefmilieu Brussel*. Opgehaald van <https://leefmilieu.brussels>
- Upton, N. (2017, januari 5). Connecting the connected car: What needs to happen now [Blog post]. *TechTarget*. Opgehaald van <https://internetofthingsagenda.techtarget.com>
- US Department of Transportation (DOT). (s.d.). *Connected vehicles: Vehicle-to-pedestrian communications* (No FHWA-JPO-15-242). Opgehaald van https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/CV_V2Pcomms.pdf
- US Department of Transportation (DOT). (2018). *Preparing for the future of transportation: Automated vehicles 3.0*. Opgehaald van <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>
- Ush. (2020, februari). *From pilot phase to market deployment: Current bottlenecks*. Presentatie op het ITS event @Solvay, Brussel, België. Opgehaald van <http://www.its.be/sites/default/files/Ush ITS%20event%2012-02.pdf>
- van de Weijer, B. (2019, oktober 10). Binnenkort op de weg: Zelfrijdende robottaxi's zonder reservemensen achter het stuur. *De Volkskrant*. Opgehaald van <https://www.volkskrant.nl>
- Van Den Bergh, J. (2013, juli 17). *Wetsontwerp tot creatie van het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen en tot wijziging van de wet van 10 april 1990 tot regeling van de private en bijzondere veiligheid* (Belgische Kamer van Volksvertegenwoordigers: Verslag namens de Commissie voor de Infrastructuur, het Verkeer en de Overheidsdomeinen No 53 2943/002). Opgehaald van <https://www.dekamer.be/kvvcr/index.cfm?language=nl>
- van der Walle, E. (ed.). (2017). *InterCor: Plan of action TESTFEST ITS-G5*, Dordrecht, July 3-6, 2017. Opgehaald van the InterCor website: https://intercor-project.eu/wp-content/uploads/sites/15/2017/06/Plan-of-Action-Testfest-ITS-G5_v-1.0-Participants.pdf
- Van Geem, C., Massart, T., Van Buylaere, A., Draps, M., Laforce, M. & Hindrijckx, M. (2020). *Visuele inspectie en wegennetbeheer (steden en gemeenten): Schadecatalogus* (OCW Meetmethode No MN 89, Rev. 1). Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW).

- van Nes, C.N. & Duivenvoorden, C.W.A.E. (2017). *Veilig naar het verkeer van de toekomst: Nieuwe mogelijkheden, risico's en onderzoeksagenda voor de verkeersveiligheid bij automatisering van het verkeerssysteem* (SWOV Rapport No R-2017-2). Opgehaald van <https://www.swov.nl>
- Van Schagen, I., van der Kint, S. & Hagenzieker, M. (2017). *Zelfrijdende voertuigen: Wat betekent dat voor fietsers en voetgangers?* (SWOV Rapport No R-2017-22). Opgehaald van <https://www.swov.nl>
- Van Wijngaarden, M. (2019a, mei 23). *Ford zet robot in voor pakketbezorging met AV*. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Van Wijngaarden, M. (2019b, mei 30). *Robottaxi wordt niet snel winstgevend*. *Automobiel Management (AM)*. Opgehaald van <https://www.automobielmanagement.nl>
- Vanaf 2021 zelfrijdende busjes in Antwerpen. (2018, oktober 10). *Het Laatste Nieuws (HLN)*. Opgehaald van <https://www.hln.be>
- Véhicules autonomes: Navya victime du retard au décollage. (2019, July 25). *Le Point*. Opgehaald van <https://www.lepoint.fr>
- Vellinga, N.E. & Vellinga, W.H. (2015). Enkele verkeersrechtelijke aspecten van toelating van (deels) zelfrijdende of autonome auto's tot het wegverkeer. *Verkeersrecht*, (3), 82-90. Opgehaald van <https://www.crow.nl/downloads/pdf/portals/dutch-roads/artikel-autonome-voertuigen-uit-verkeersrecht.aspx?ext=.pdf>
- Venezia, M. (2015, december 16). What is the difference between GNSS and GPS? [Blog post]. Opgehaald van <https://www.semiconductorstore.com/blog/2015/What-is-the-Difference-Between-GNSS-and-GPS/1550/>
- Vermaat, P., Reed, N., de Kievit, M., Wilmink, I., Zlocki, A. & Shladover, S.E. (2017). *DRAGON: Driving automated vehicle growth on national roads. Deliverable 4.1: WP4, findings report* (versie 1.0). Opgehaald van <https://www.cedr.eu>
- Verordening (EU) 2016/679 van het Europees Parlement en de Raad van 27 april 2016 betreffende de bescherming van natuurlijke personen in verband met de verwerking van persoonsgegevens en betreffende het vrije verkeer van die gegevens en tot intrekking van Richtlijn 95/46/EG (algemene verordening gegevensbescherming). 2016. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L 119, 1-88. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Verordening (EU) 2019/881 van het Europees Parlement en de Raad van 17 april 2019 inzake Enisa (het Agentschap van de Europese Unie voor cyberbeveiliging), en inzake de certificering van de cyberbeveiliging van informatie- en communicatietechnologie en tot intrekking van Verordening (EU) No 526/2013 (de cyberbeveiligingsverordening). 2019. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L 151, 15-69. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- 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 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) No 78/2009, (EG) No 79/2009, en (EG) No 661/2009 van het Europees Parlement en de Raad en de Verordeningen (EG) No 631/2009, (EU) No 406/2010, (EU) No 672/2010, (EU) No 1003/2010, (EU) No 1005/2010, (EU) No 1008/2010, (EU) No

- 1009/2010, (EU) No 19/2011, (EU) No 109/2011, (EU) No 458/2011, (EU) No 65/2012, (EU) No 130/2012, (EU) No 347/2012, (EU) No 351/2012, (EU) No 1230/2012 en (EU) 2015/166 van de Commissie. (2019). Publicatieblad van de Europese Unie, L325, 1-40. Opgehaald van <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Verrips, A., Hoen, A. et al. (2016). *Kansrijk mobiliteitsbeleid*. Opgehaald van de Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) website: <https://www.pbl.nl/publicaties/kansrijk-mobiliteitsbeleid>
- VIAS Institute. (2018, oktober 4). *Test with self-driving shuttle at the Lion's Mound, Waterloo* [Photo].
- VIAS Institute & Federal Public Service Mobility and Transport. (2018, september 4). *Voor het eerst heeft een shuttle zonder bestuurder op de openbare weg gereden in België: Een historische dag voor de mobiliteit en verkeersveiligheid* [Persbericht]. Opgehaald van <https://www.vias.be/nl/newsroom/voor-het-eerst-heeft-een-autonome-shuttle-zonder-bestuurder-op-de-openbare-weg-gereden-in-ons-land/>
- Virginia Department of Transportation (VDOT). (2017). *Connected and automated vehicle program plan*. Richmond, Virginia, USA: Auteur. Opgehaald van <https://www.virginia-dot.org>
- Visnic, B. (2019, april 2). European Union approves mandatory vehicle speed-limiting feature. *SAE International*. Opgehaald van <https://www.sae.org>
- Vlaamse Minister van Mobiliteit, Openbare Werken, Vlaamse Rand, Toerisme en Dierenwelzijn, Vlaamse Minister van Werk, Economie, Innovatie en Sport. (2018). *Bisconceptnota aan de regering betreffende geconnecteerde en geautomatiseerde mobiliteit in Vlaanderen* (No VR 2018 0203 DOC.0194/1BIS). Opgehaald van https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/conceptnota_-_geconnecteerde_en_geautomatiseerde_mobiliteit_in_vlaanderen.pdf
- Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (s.d.). *Basisbereikbaarheid*. Opgehaald van <https://www.vlaanderen.be/basisbereikbaarheid>
- VMS/Insight. (2019). *Het effect van ADAS op schadeherstel, onderhoud en reparatie: Highlights ADAS-onderzoek*. Opgehaald van https://www.bovag.nl/getattachment/Pers/Persberichten/Bijna-een-kwart-minder-schade-door-ADAS/ADAS2019_highlights_def_e_loos.pdf.aspx?lang=nl-NL
- Voronov, A., Hultén, J., Wedlin, J. & Englund, C. (2016). *Radar reflecting pavement markers for vehicle automation*. Opgehaald van <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/radar-reflecting-pavement-markers-vehicle-automation>
- Vrije Universiteit Brussel (VUB). (2019). *Test self-driving shuttle on Brussels Health Campus* [Foto]
- Waarom Rotterdam zijn lage-emissiezone afbouwt. (2019, december 27). *Bruzz*. Opgehaald van <https://www.bruzz.be>
- Wang, M., van Maarseveen, S., Happee, R., Tool, O. & van Arem, B. (2019). Benefits and risks of truck platooning on freeway operations near entrance ramp. *Transportation research record (TRR)*, 2673(8), 588-602. Opgehaald van <https://doi.org/10.1177/0361198119842821>
- Wenen schort experiment met zelfrijdende minibus op na ongeval. (2019, juli 19). *Het Laatste Nieuws (HLN)*. Opgehaald van <https://www.hln.be>
- What are the risks of allowing direct access to car data?* (s.d.). Opgehaald van <https://www.cardatafacts.eu/risk-direct-access-car-data/>

- Wilmink, I., Calvert, S., de Kievit, M., Landen, T. & Zlocki, A. (2017). *DRAGON: Driving automated vehicle growth on national roads. Deliverable 2.1: WP2, exploration of impacts, constraints and enablers of automated vehicles on NRAs (versie 2)*. Opgehaald van de Conference of European Directors of Roads (CEDR) website: <https://www.cedr.eu>
- Woolsgrove, C. (2019). *Opportunities and threats of autonomous vehicles to other modes in urban areas*. Presentation for the European Cyclists' Federation (ECF), Dublin. Opgehaald van https://ecf.com/sites/ecf.com/files/Woolsgrove.C_opportunities_and_threats_of_autonomous_vehicles_to_other_modes_in_urban_areas.pdf
- Yoshida, H. (s.d.). *Automated driving service based at «Michi-no-eki» in rural mountainous areas* [Presentation]. Opgehaald van https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2017/file/evt_ws2017_s5_HidenoriYoshida.pdf
- Zelfrijdende auto niet langer sneeuwblind. (2020, maart 2). *De ingenieur*. Opgehaald van <https://www.deingenieur.nl>
- Zelfrijdende auto's in de EU: Sciencefiction wordt werkelijkheid. (2019, januari 29). *Nieuws Europees Parlement*. Opgehaald van <https://www.europarl.europa.eu/news/nl/headlines/economy/20190110STO23102/zelfrijdende-auto-s-in-de-eu-sciencefiction-wordt-werkelijkheid>
- Zenzic. (2019). *UK connected and automated mobility roadmap to 2030*. Opgehaald van <https://zenzic.io/roadmap/>

Hoofdstuk 7

Leden van de werkgroep

Cocu, Xavier	OCW
Cornet, Denis	SPW
De Mol, Johan	Imec - UGent
Debauche, Wanda	OCW
Defreyne, Peter	IXOR
Dzhambaz, Ertan	OCW
Gaillet, Jean-Francois	VIAS
Simon Gianordoli	ERF, Routes de France
Helmus, Vincent	SPW
Iliens, Liessa	AWV-VWT
Kenis, Eric	MOW
Keunen, Dries	The New Drive
Lannoo, Bart	UAntwerpen
Lefrancq, Martin	Brussel Mobiliteit
Leroy, Laurence	Brussel Mobiliteit
Marquet, Kurt	ITS.be
Massart, Arnaud	SPW
Mertens, Sandra	Louvain-La-Neuve
Michaux, Gauthier	SPW
Mollu, Kristof	AWV

Neckebroeck, Sven	Brussel Mobiliteit
Nicodème, Christophe	ERF
Noël, Marie-Hélène	MIVB
Nuyttens, Rik	3M
Poncelet, Jean-Marie	SPW
Redant, Kris	OCW
Rombaut, Kristof	AWV-VWT
Schiettecatte, Koen	De Lijn
Schoutteet, Veerle	AWV
Soens, Steven	Febiac
Timmermans, Jean-Marc	Agoria
van Geelen, Hinko	OCW
Vandewauwer, Philippe	MIVB
Vanhaverbeke, Lieselot	VUB
Volckaert, An	OCW
Wrzesińska, Dagmara	VIAS

Ressorterende en steunende leden krijgen de nieuwe OCW-publicaties kosteloos toegestuurd. Deze publicatie is enkel elektronisch beschikbaar.

Meer informatie:

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

Deze publicatie bestellen:

publication@brrc.be – Tel.: +32 (0)2 766 03 26




Kenmerk: SN 51 – Prijs: 14,00 € (excl. 6 % btw)

■ Andere publicaties in de reeks “Synthese”

De reeks “Synthese” omvat de OCW-publicaties die de stand van zaken voor specifieke problemen schetsen en onderwerpen voorstellen die voor onderzoek in aanmerking kunnen komen.

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

■ Andere OCW-reeksen

-  Aanbevelingen
-  Meetmethode
-  Researchverslag



Opzoekingscentrum voor de Wegbouw
Samen voor duurzame wegen

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Woluwedal 42
1200 Brussel
Tel. : 02 775 82 20 - Fax : 02 772 33 74
www.ocw.be

Zelfrijdende voertuigen zouden een oplossing zijn voor heel wat verkeer- en transportgerelateerde problemen die vandaag nijpend zijn. Of toch niet? Wanneer en onder welke voorwaarden zouden al die beloftes dan worden waargemaakt? OCW en vertegenwoordigers van wegbeheerders, de automobielsector, openbaarvervoermaatschappijen, onderzoeksinstituten, enz. doen een poging de stand van zaken in deze snel evoluerende materie te schetsen. Vooral om een beeld te krijgen van de manier waarop infrastructuur zou kunnen of moeten evolueren zodat die geen rem is op de toekomstige ontplooiing van zelfrijdende voertuigen, maar eerder een bijdrage kan leveren aan de succesvolle introductie ervan.

Vooralsnog blijft de menselijke weggebruiker echter het uitgangspunt bij ontwerp en bouw van weginfrastructuur, waarbij die weggebruiker in toenemende mate wordt ondersteund door technologische ontwikkelingen. Om deze ondersteuning optimaal te laten functioneren lijken grote infrastructuuraanpassingen niet meteen nodig. Herkenbare en geharmoniseerde signalisatie (eventueel *communication technology ready*) en duurzame en kwalitatieve wegoppervlakken lijken op dit ogenblik zowat de belangrijkste noden te zijn van de ontwikkelaars van zelfrijdende voertuigen.

Zelfrijdende voertuigen worden veiliger, milieuvriendelijker, efficiënter, toegankelijker, enz. Voor sommigen worden ze ook aangenamer in het gebruik. Meer nog dan louter een nieuwe manier om ons te verplaatsen, kunnen zelfrijdende voertuigen een rol spelen in de mobiliteit van de toekomst. Al of niet gedeelde (ritten met) zelfrijdende voertuigen kunnen een aanvulling zijn op openbaar vervoer. Testen met shuttles die vandaag opereren over een beperkt vast traject, meestal buiten het openbaar domein, evolueren in de toekomst wellicht naar flexibele *on-demand* diensten. Afhankelijk van de rol van zelfrijdende voertuigen in het transportsysteem van de toekomst, wijzigt het belang van bepaalde infrastructurele voorzieningen (*drop-off & pick-up* zones, parkings met aanvullende voorzieningen, enz.). Veel hangt daarbij af van de keuzes die worden gemaakt voor dat toekomstige transportsysteem. In de tekst worden – vooral voor stedelijke omgeving – een aantal mogelijke evoluties geschetst.

In dit rapport verkennen we de toekomst, en gaan we in op mogelijkheden om daarop in te spelen. Het rapport verschaft inzicht in '*no regret*'- maatregelen op het vlak van weginfrastructuur. Daarnaast schetsen we **het grotere plaatje**: weginfrastructuur is een essentiële voorwaarde voor verplaatsingen, maar heeft vanzelfsprekend nauwe raakvlakken met andere aspecten van de maatschappij en het verplaatsingssysteem in het bijzonder.

Waarschijnlijk zal de toekomst er voor een deel toch nog anders uitzien. Binnen 10 jaar bestaan er misschien mogelijkheden waarvan we het bestaan vandaag niet eens kunnen dromen. De geleidelijke ontplooiing van zelfrijdende voertuigen dwingt echter om na te denken over het toekomstbeeld dat we wensen en hoe het ongetwijfeld nog steeds nodige transport zal ingevuld worden. De introductie van zelfrijdende voertuigen biedt de gelegenheid om die toekomst vorm te geven in plaats van ze te ondergaan.

ITRD-trefwoorden

0132 – PROGNOSE ; 0698 – VERPLAATSING ; 1055 – VERKEERSINFRASTRUCTUUR ; 1145 – WIJZE VAN VERVOER ; 1244 – AUTONONOOM VOERTUIG ; 8588 – STAND VAN ZAKEN (VERSLAG OVER DE) ; 8735 – INTELLIGENT TRANSPORTSYSTEEM ; 9105 – MOBILITEIT (MENS)