



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Autonome voertuigen: opportuniteiten in de logistieke sector

Michiel Dieltiens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2022
2023



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Autonome voertuigen: opportuniteiten in de logistieke sector

Michiel Dieltiens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS

Woord vooraf

Deze thesis is het sluitstuk van mijn masteropleiding Handelswetenschappen met afstudeerrichting Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt. In deze thesis wordt onderzocht welke opportuniteiten autonome voertuigen kunnen hebben binnen de logistiek. Na overleg met prof. dr. Kris Braekers kwamen we tot de conclusie dat het onderwerp zeer breed was en verder afgebakend moest worden. Na wat voorafgaand opzoekwerk rond het thema heb ik besloten om het onderzoek vooral te richten op het goederentransport. Om dit onderzoek tot een goed einde te brengen werd eerst een literatuurstudie uitgevoerd. Vervolgens werden er in de empirische studie interviews afgenomen om de resultaten hiervan verder af te toetsen aan de wetenschappelijke literatuur.

Het schrijven van deze thesis was zeker niet gelukt zonder de nodige hulp. Daarom wil ik eerst en vooral mijn promotor prof. dr. Kris Braekers bedanken voor de deskundige begeleiding en feedback waardoor ik mijn onderzoek naar een hoger niveau heb kunnen tillen. Verder wil ik ook mijn familie, vrienden en collega's bedanken. Het was een extra uitdaging om deze thesis te schrijven in hetzelfde jaar dat mijn professionele carrière van start is gegaan, maar door hun motivaties en steun heb ik toch het doorzettingsvermogen gevonden om dit onderzoek tot een goed einde te brengen. Tot slot wil ik ook nog alle respondenten bedanken die tijd hebben vrijgemaakt om deel te nemen aan de interviews.

Michiel Dieltiens

Beringen, 18 augustus 2023

Samenvatting

Globalisatie en een verhoogde competitiviteit hebben ertoe geleid dat logistiek een steeds belangrijke rol krijgt in de internationale handel. Door de toenemende e-commerce en steeds hogere verwachtingen van consumenten moeten bedrijven steeds meer orders behandelen, aan strengere levertermijnen voldoen en verwachten zowel bedrijven als particulieren deur-tot-deur leveringen. Door voorgaande ontwikkelingen blijft wegtransport, ondanks de opkomst van multimodaal transport, met voorsprong het populairste transportmiddel. Wegtransport is namelijk veel flexibeler in te zetten dan transport via spoor- of waterwegen en moet hoe dan ook ingezet worden voor de deur tot deur leveringen die niet meer weg te denken zijn uit onze maatschappij. Door enkel wegtransport in te zetten wordt ook geen tijd verloren met het overladen van goederen en blijft de lead time lager.

Het vele wegtransport zorgt wel voor uitdagingen in de logistiek, en aangezien dit momenteel niet te vervangen is wordt er gezocht naar oplossingen binnen het wegtransport zelf. Als een van de veel belovende oplossingen worden autonome voertuigen naar voor geschoven en dat is dan ook wat er onderzocht wordt in deze thesis. De centrale onderzoeksvraag luidt: "Wat zijn de opportuniteiten van autonome voertuigen binnen het wegtransport van goederen?"

Om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden werd het onderzoek opgedeeld in vier deelvragen. Eerst wordt er een literatuurstudie uitgevoerd om de eerste drie deelvragen te beantwoorden, voor de laatste deelvraag wordt er empirisch onderzoek uitgevoerd door middel van interviews die dan afgetoetst worden aan de literatuurstudie.

Voordat er onderzocht kan worden wat de opportuniteiten zijn van autonome voertuigen in de toekomst moet er eerst een beeld gevormd worden van de huidige uitdagingen van het wegtransport. In het eerste deel van de thesis worden de vijf belangrijkste en meest actuele uitdagingen besproken: het klimaat en de hoge CO₂-uitstoot, het grote tekort aan chauffeurs, last mile deliveries, congestie en veiligheid op onze wegen. In het tweede deel wordt dan de huidige status van autonome voertuigen zelf besproken. Er zijn zes levels van automatisatie, gaande van level nul (volledig manueel) tot level vijf (volledig autonoom) en momenteel zijn er vrachtwagens van level twee commercieel beschikbaar (adaptive cruise control) en autonome bezorgrobots van level vier die via de stoep bijna volledig autonoom kunnen leveren, met enkel een persoon op afstand voor noodsituaties. Daarna wordt binnen deelvraag twee nog ingegaan op uitdagingen voor autonome voertuigen die verdere ontwikkeling kunnen belemmeren.

In het derde deel wordt er vanuit de literatuur onderzocht hoe autonome voertuigen een antwoord gaan kunnen bieden op die uitdagingen van het wegtransport en de logistiek. De vele sensoren en hardware zorgen ervoor dat autonome voertuigen veel elektrisch vermogen nodig gaan hebben. Een volledige elektrische batterij zorgt voor de meest stabiele bron voor dat elektrisch vermogen waardoor autonome voertuigen vaak elektrisch zullen zijn, met een daling van de CO₂-uitstoot als gevolg. De autonome bezorgrobots hebben sowieso geen chauffeur meer nodig en als ook andere autonome voertuigen voor goederenvervoer hogere levels van automatisatie zullen bereiken, zijn er geen chauffeurs meer nodig

en kan het volledige chauffeurstekort opgevangen worden. Voorgaande autonome bezorgrobots kunnen bij verdere ontwikkeling ook een groot deel van de last mile leveringen overnemen, waardoor grotere voertuigen uit de stad geweerd kunnen worden. Dat zal een positieve invloed op de congestie en op het klimaat met zich meebrengen. Als laatste kunnen autonome voertuigen ook hun rol spelen wat betreft veiligheid als ze onderling en met de infrastructuur zijn verbonden.

Het vierde en laatste deel ging in op de deelvraag: "Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?" en werd beantwoord aan de hand van expertinterviews. Er werd gevraagd naar hun verwachtingen rond autonome voertuigen en deze werden dan ook afgetoetst aan de literatuurstudie. De respondenten verwachten vooral een oplossing voor het chauffeurstekort en een invloed op de last mile deliveries, zij het wel enkel voor kleinere pakketjes. Over de invloed van autonome voertuigen op de congestie zijn de meningen verdeeld. Sommige denken dat deze zal dalen doordat last mile deliveries uitgevoerd kunnen worden door autonome bezorgrobots en andere denken dat autonome voertuigen voor een stijging van de hoeveelheid voertuigen zal zorgen en de congestie misschien zelfs kan stijgen. Tot slot kwamen er twee kritische bedenkingen over de toekomst van autonome voertuigen vaak terug. De respondenten stellen zich vragen bij de laadinfrastructuur die volgens hen niet klaar is voor een grote stijging van elektrische voertuigen. Maar vooral over de wetgeving in Europa die het volgens hen niet toelaat om autonome voertuigen commercieel beschikbaar te stellen zijn ze kritisch. Ze stellen allemaal dat er een wettelijk kader mist dat van toepassing is op de Europese Unie voor zowel aansprakelijkheid bij ongevallen als voor ethische kwesties waarmee autonome voertuigen te maken gaan krijgen.

Na het bespreken van alle deelvragen wordt hier de finale conclusie besproken. Autonome voertuigen kunnen op meerdere vlakken opportuniteiten bieden in de toekomst. Maar voordat autonome voertuigen opportuniteiten kunnen bieden zijn er wel nog enkele zaken waaraan voldaan moeten worden. Niet in Europa, maar ook nergens anders ter wereld is er een duidelijk en eenduidig wettelijk kader omtrent autonome voertuigen. Eerst en vooral moet er een duidelijke wetgeving komen rond wie wanneer aansprakelijk gesteld kan worden bij een ongeval. Bovendien moet er ook duidelijkheid geschept worden rond ethische kwesties aangezien autonome voertuigen hier hoe dan ook mee te maken zullen krijgen. Duidelijkheid hierover zorgt voor rechtszekerheid en dat is een belangrijke factor voor zowel de verdere ontwikkeling door innovators als voor de adaptatie van consumenten. Als daar nog bij komt dat via 5G verbindingen en cloud computing alle voertuigen onderling en met de infrastructuur worden verbonden dan zal de veiligheid ook nog eens in grote mate kunnen toenemen. Buiten veiliger verkeer kunnen autonome voertuigen ook invloed hebben op klimaat en congestie door het invoeren van autonome bezorgrobots. Daarbij komt nog dat chauffeurs overbodig worden en logistieke dienstverleners geen rekening meer moeten houden met chauffeurstekorten. Er kunnen dus ook veel meer ritten gereden worden zonder dat het voertuig per se terug moet naar het hoofdkwartier, de efficiëntie van de ingezette voertuigen stijgt en kan daarom ook een positieve invloed hebben op de winsten van bedrijven. Al is de technologie die wordt verwerkt in autonome voertuigen momenteel nog duur en is het afwachten wat de investeringskosten zullen zijn voor bedrijven.

Tot slot nog enkele beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek naar dit onderwerp. Uit het empirisch onderzoek zijn er geen concrete data of praktijkvoorbeelden naar voor gekomen over de impact die autonome voertuigen kunnen hebben. Voor dit onderzoek zijn er enkel medewerkers van logistieke bedrijven geïnterviewd en autonome voertuigen zijn voor hen nog ver weg. Er zijn wel meningen en verwachtingen van experts verkregen, maar niemand van hen is al bezig met onderzoek of actief te testen. Voor toekomstig onderzoek is het sterk aanbevolen om respondenten te zoeken van bedrijven actief in de auto-industrie, die ook vrachtwagens ontwikkelen of van bedrijven die bezig zijn met autonome bezorgrobots. Het implementeren van autonome goederenvoertuigen start dan ook bij hen en zij kunnen waardevolle inzichten bieden voor de toekomst.

Inhoudstafel

Begrippenlijst	8
1. Inleiding	10
1.1 Probleemstelling	10
1.2 Onderzoeksvragen	13
1.2.1 Centrale onderzoeksvraag	13
1.2.2 Deelvragen.....	13
1.3 Methodologie	14
2. Literatuurstudie.....	16
2.1 Uitdagingen voor het wegtransport	16
2.1.1 Klimaat.....	16
2.1.2 Tekorten aan chauffeurs	17
2.1.3 Last mile deliveries.....	17
2.1.4 Congestie.....	19
2.1.5 Veiligheid	20
2.2 Hoe ver staan de ontwikkelingen van autonome voertuigen en wat zijn de grootste uitdagingen?	21
2.2.1 De evolutie van autonome voertuigen van 1986 tot nu.	23
2.2.1.1 Impactvolle technologische ontwikkelingen	24
2.2.1.2 Personenvoertuigen	26
2.2.1.3 Goederenvoertuigen	29
2.2.2 Technologische ontwikkelingen van de toekomst.....	32
2.2.3 Uitdagingen voor autonome voertuigen.....	34
2.2.3.1 De uitdagingen momenteel nog verbonden aan de LiDAR technologie	34
2.2.3.2 Veiligheid	35
2.2.3.3 Wettelijke beperkingen.....	36
2.2.3.4 Gebrek aan regelgeving rond aansprakelijkheid en bescherming gegevens	36
2.2.3.5 Autonome voertuigen en ethische dilemma's.....	37
2.2.3.6 Autonome en niet autonome voertuigen	37
2.2.3.7 Kosten van autonome voertuigen	38
2.3 Hoe kunnen autonome voertuigen een antwoord bieden aan problemen in de logistiek?	38
2.3.1 Klimaat.....	38
2.3.2 Chauffeurs	38
2.3.3 Last mile deliveries.....	39
2.3.3.1 Autonome bezorgrobots	39
2.3.3.2 Autonome drones	41
2.3.3.3 Tweeledig systeem voor last mile deliveries	42

2.3.4 Congestie	43
2.3.5 Veiligheid	44
2.3.6 Platooning	44
3. Empirische studie	46
3.1 Introductie respondenten.....	46
3.2 Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?.....	47
3.2.1 Toetsing aan de literatuur	47
3.2.1.1 Chauffeurs	47
3.2.1.2 Wetgeving	47
3.2.1.3 Congestie	48
3.2.1.4 Last mile deliveries	48
3.2.1.5 Veiligheid	49
3.2.2 Bijkomende verwachtingen.....	49
3.2.2.1 Infrastructuur	49
3.2.2.2 Efficiëntie van voertuigen	50
4. Conclusie.....	51
5. Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek	54
Referentielijst	55

Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Congestie	Verkeerscongestie is een verstopping in het verkeersnetwerk, veroorzaakt door een verkeersvraag die groter is dan het aanbod van de verkeersinfrastructuur.
Last mile delivery	Last Mile Delivery is het laatste deel bij een leveringsproces waar de goederen hun eindbestemming bereiken tot bij de eindgebruiker.
E-commerce	E-commerce is het proces van het kopen en verkopen van producten via elektronische middelen, zoals mobiele applicaties en internet
Logistieke hub	Een hub binnen de logistieke sector wordt vaak gezien als een centrale locatie meestal aan de rand van een stad. Hier worden alle producten en goederen afgeleverd die bestemd zijn voor die regio. In de hub kunnen deze producten of goederen tijdelijk opgeslagen of gecombineerd worden met andere zendingen.
Autonoom voertuig	Een voertuig dat zonder ingrijpen van de bestuurder aan het verkeer kan deelnemen.
Delivery robot	Delivery robots of leveringsrobots zijn kleine autonome voertuigen die pakketten kunnen dragen en bezorgen dankzij hun geavanceerde sensor- en positioneringstechnologie.
Autonome drones	Een autonome drone is een drone die vliegt onder de controle van automatische systemen en geen tussenkomst van een menselijke piloot nodig heeft.
Artificial intelligence	Artificial intelligence maakt gebruik van computers en machines om de probleemoplossende en besluitvormende mogelijkheden van het menselijk brein na te bootsen.
Internet of Things	Het Internet of Things (IoT) is een netwerk van verbonden objecten en apparaten (ook wel "dingen" genoemd) die zijn uitgerust met sensoren (en andere technologieën) waarmee ze data kunnen verzenden en ontvangen van en naar andere dingen en systemen.
Consolidatie	Consolidatie van goederen is het proces waarbij producten in een magazijn of andere opslagplaats worden gereorganiseerd en gegroepeerd voor opslag of transport.
Multimodaal transport	Multimodaal transport houdt in dat verschillende transportmiddelen worden gebruikt in één transportboeking. Dit betekent dat vracht wordt vervoerd vanaf het punt van herkomst naar het punt van bestemming door middel van diverse middelen van transport onder één enkel contract.
Cloud computing	De praktijk van het gebruik van een netwerk van externe servers die op het internet zijn gehost om gegevens op te slaan, te beheren en te verwerken, in plaats van een lokale server of een persoonlijke computer.

LiDAR technologie	Om met een laser de afstand tot een object of oppervlak te kunnen meten maakt deze gebruik van de technologie LiDAR (LIght Detection of Laser Imaging And Ranging). De LiDAR laser stuurt een laserpuls uit tot een object of oppervlak. De puls wordt vervolgens gereflecteerd. Op basis van de verstreken tijd tussen het uitzenden van de laserpuls en het opvangen van de reflectie wordt de afstand berekend.
Robo-taxi	Een robo-taxi is een zelfrijdende auto die fungeert als een taxi. Dit betekent dat robo-taxis geen chauffeur hebben en dat passagiers ze kunnen aanvragen via een smartphone-applicatie.
Platooning	Platooning is het koppelen van twee of meer voertuigen in konvooi, met behulp van connectiviteitstechnologie en geautomatiseerde rijondersteuningssystemen. Deze voertuigen behouden automatisch een vastgestelde, kleine afstand tussen elkaar wanneer ze verbonden zijn voor bepaalde delen van een reis, bijvoorbeeld op snelwegen.

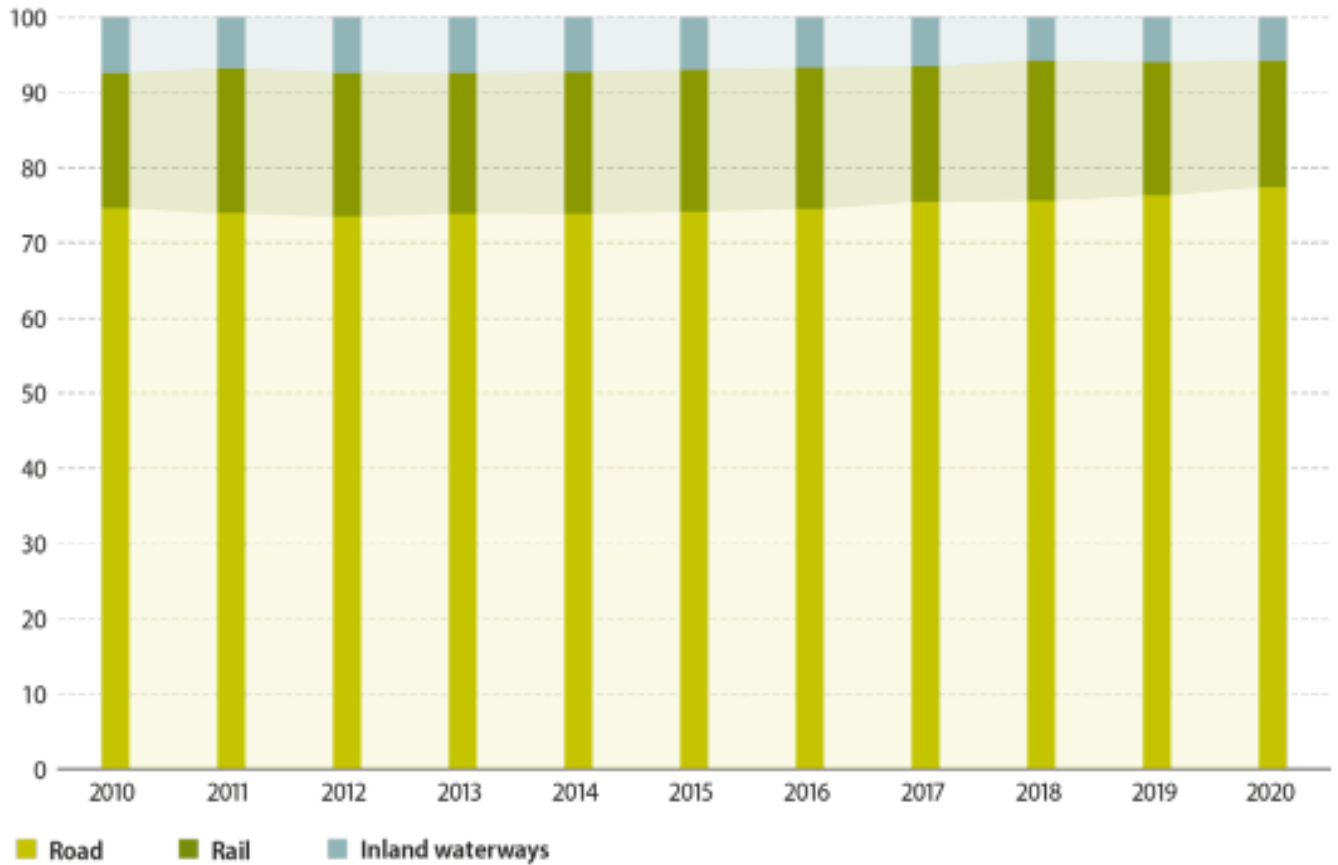
1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

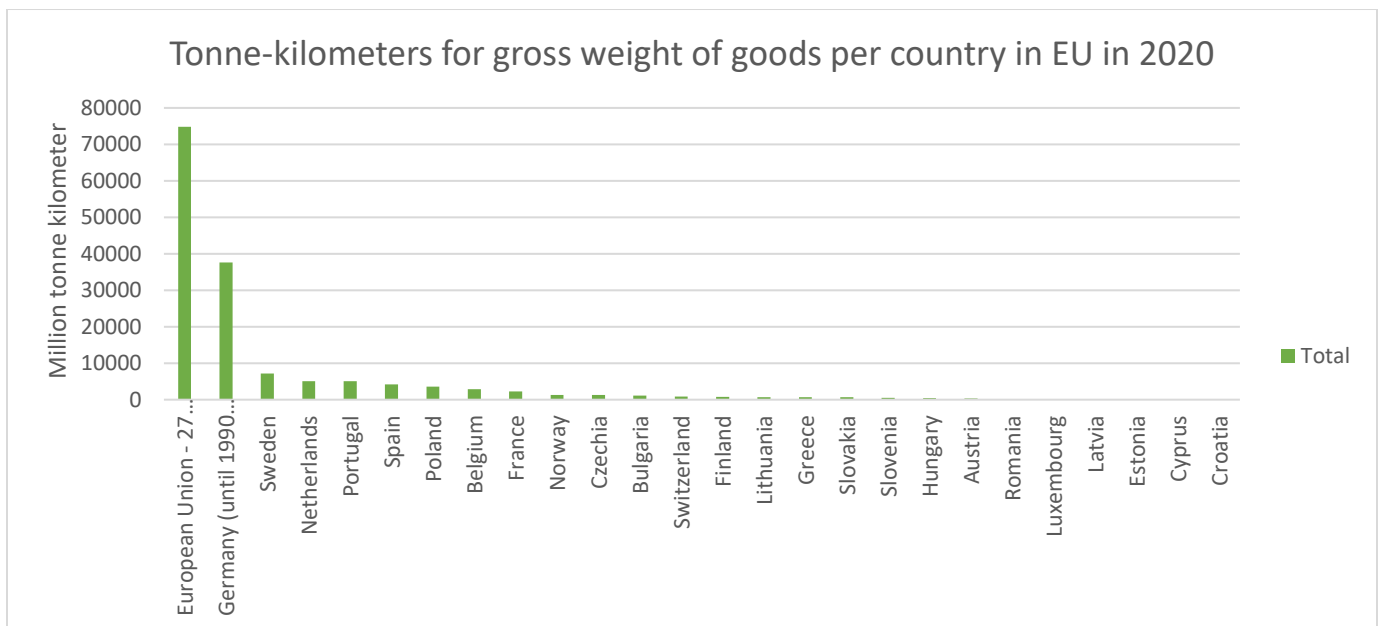
Globalisatie en verhoogde competitiviteit hebben ertoe geleid dat logistiek een van de sleutelementen is geworden in internationale handel. Logistiek is het plannen, implementeren en controleren van een efficiënte en effectieve flow en stockage van goederen en diensten. Dit vanaf een extern beginpunt naar het bedrijf en van het bedrijf verder naar de klant (Lummus, Krumwiede and Vokurka 2001). Volgens de Souza (2017) zijn efficiënte logistieke diensten een belangrijke factor om producten makkelijk te vervoeren en om ze veilig en snel te leveren. Zijn er problemen in de supply chain dan komen tijdige productie en de levertermijnen van deze producten in het gedrang. Het is daarom belangrijk dat de logistieke processen optimaal verlopen om zo de competitiviteit van bedrijven te waarborgen (Martí, Puertas & García 2014).

Door nieuwe marktontwikkelingen, e-commerce en hogere verwachtingen van de klanten moeten bedrijven en distributiecentra meer orders behandelen en zich daarbij aan strengere levertermijnen houden (Andriansyah et al.2014; Marchet, Melacini and Perotti 2015). Door deze toenemende druk op logistieke ketens, zoeken bedrijven oplossingen zoals het automatiseren van processen; een voorbeeld is de toenemende automatisatie in het order picking proces (Caputo and Pela-gagge 2006; Marchet, Melacini and Perotti 2015). Bovenop de efficiëntie in de magazijnen moet ook het transport een antwoord hebben op deze uitdagingen. Binnen het transport spelen er wel meerdere maatschappelijke kwesties mee. Uitdagingen als klimaatverandering, stijgende vraag naar last mile deliveries, meer congestie en veiligheid spelen een belangrijke rol (Litman 2017; Bradburn et al., 2016).

Er wordt de laatste jaren steeds meer ingezet op multimodaal transport, maar zoals in figuur 1 te zien is, blijft wegtransport de logistiek domineren. Volgens figuur 2 was het wegtransport in 2020 in de Europese Unie verantwoordelijk voor maar liefst 74 849 miljoen tonkilometer. Dit ondanks dat wegtransport een van de meest vervuilende transportmodi is, verantwoordelijk voor 20% van de koolstofdioxide uitstoot in Europa (European environmental agency, 2016).



Figuur 1: modale verdeling van goederenvervoer binnen de EU in 2020 (Eurostat, 2022)



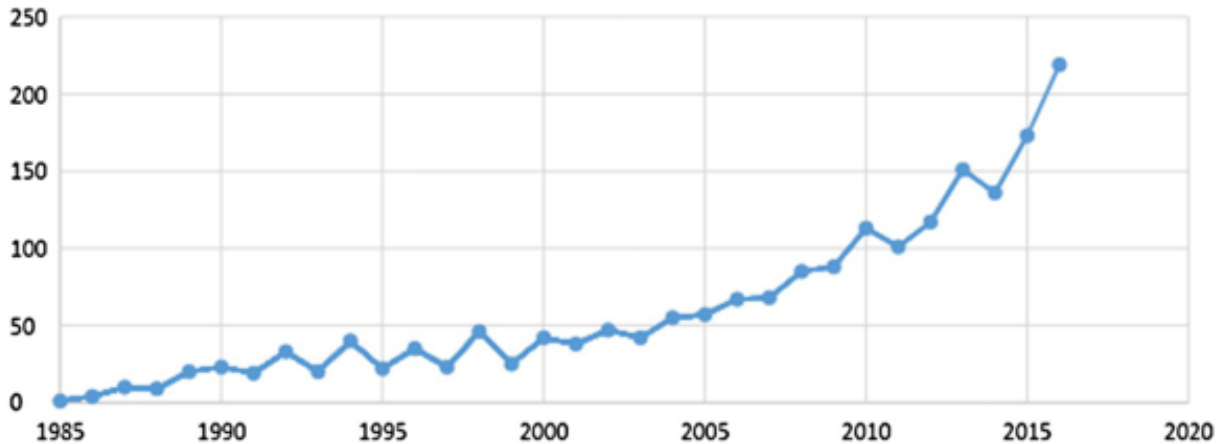
Figuur 2: tonne-kilometers for gross weight goods per country in EU in 2020 (Eurostat, 2022)

Er zijn meerdere redenen waarom wegtransport nog steeds de belangrijkste transportmodus is. Een eerste voordeel van het wegtransport tegenover alternatieve modi is de flexibiliteit. Wegtransport kan op elk moment ingezet worden en hangt niet af van bepaalde tijdssloten zoals transport via spoor- en waterwegen (Dong & Transchel, 2020). Daarbij komt nog dat producten die enkel per truck worden vervoerd minder vaak stilstaan en niet overgeladen moeten worden naar een ander vervoermiddel, wat zich vertaalt in een lagere lead time voor wegtransport in vergelijking met intermodaal transport (H.Mann, 2023).

Door de meer frequente leveringen en de hogere verwachtingen van klanten wat betreft de levertermijnen is dit een belangrijk voordeel voor de logistieke dienstverleners (Andriansyah et al. 2014; Marchet et al., 2015). Volgens de resultaten weergegeven in figuur 1, een voordeel dat nog niet te compenseren valt door de voordelen die intermodaal transport met zich kan meebrengen, zoals bijvoorbeeld een kostenvoordeel.

Transport via spoor- of waterwegen zal ook steeds afhankelijk blijven van het wegtransport. Enkel wegtransport is onafhankelijk van geografische beperkingen, voldoende volumes of van havens of spoorinfrastructuren. Enkel het wegtransport heeft de mogelijkheid om deur tot deur leveringen aan te bieden. Een dienst die in de huidige markt noodzakelijk is om competitief te blijven, aangezien zowel bedrijven als particulieren deur tot deur leveringen verwachten als klant (H.Pradeep, 2023).

Om aan alle uitdagingen te kunnen voldoen, en omdat het wegtransport voorlopig niet te vervangen is, zal er een structurele oplossing nodig zijn binnen het wegtransport. Daarvoor wordt er de laatste jaren fel gekeken in de richting van autonome voertuigen. Met de term autonome voertuigen wordt bedoeld: "Vehicles that can recognize the scene, plan the path, and control the motion by themselves while interacting with drivers." (Kato, Takeuchi, Ishiguro, Ninomiya, Takeda and Hamada, 2015). Autonome voertuigen in het wegtransport zijn in volle ontwikkeling en moeten de toekomst worden in onze maatschappij. Het blijkt niet eenvoudig om een eenduidige voorspelling te maken over hoe snel en in welke mate autonome voertuigen deel zullen uitmaken van het dagelijkse leven en volgens Kadry (2021) kan er enkel gespeculeerd worden over hoe dit zal lopen. Zo wordt door Kadry (2021) voorspeld dat in 2030 1 op de 10 passagiersvoertuigen autonoom zal rijden. In Bagloee et al. (2016) wordt er geschat dat tegen 2040, 40% van al het wegvervoer via autonome voertuigen zal gebeuren. Litman (2023) schat de overgang iets trager in en verwacht dat tegen 2060 de helft van alle voertuigen op de weg autonoom zullen zijn. Hoewel de voorspellingen uiteenlopend en speculatief zijn, is de conclusie wel steeds hetzelfde: autonome voertuigen zullen mee de toekomst van het wegtransport vormen. De stijgende interesse in autonome voertuigen wordt ook bevestigd in figuur 3, door de stijgende hoeveelheid aan onderzoek die naar autonome voertuigen wordt gedaan.



Figuur 3: Aantal wetenschappelijke papers per jaar in de Institute of Electrical and Electronics Engineers, de grootste professionele organisatie ter wereld gespecialiseerd in ontwikkelen van technologie ten voordele van de mens, over de ontwikkelingen over autonome voertuigen doorheen de tijd (Duarte & Ratti, 2018)

Deze autonome voertuigen en de opportuniteiten voor de logistiek die hiermee gepaard gaan zullen ook het onderwerp van dit onderzoek uitmaken. Autonome voertuigen in transport gaat niet enkel over wegvervoer, ook transport over water-, spoor- en luchtwegen hoort hierbij. Enkel wegtransport wordt onderzocht, de andere modi vallen buiten de scope van dit onderzoek, net als autonome voertuigen gebruikt binnen warehousing.

1.2 Onderzoeksvragen

1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

In deze masterthesis wordt er onderzocht hoe ver bedrijven staan in de ontwikkelingen en het gebruik van autonome voertuigen in het wegtransport en wat de opportuniteiten zijn voor de toekomst.

Onderzoeksvraag: *"Wat zijn de opportuniteiten van autonome voertuigen binnen het wegtransport van goederen?"*

Deze onderzoeksvraag zal worden opgedeeld in 4 deelvragen.

1.2.2 Deelvragen

Om te kijken waar de opportuniteiten voor autonome voertuigen zich bevinden is het belangrijk dat er eerst gekeken wordt naar de problemen en uitdagingen die zich momenteel voordoen in en rond het wegtransport algemeen.

Deelvraag 1: *"Wat zijn momenteel de grootste uitdagingen voor het wegtransport?"*

Om een beeld te kunnen krijgen over de opportuniteiten voor de toekomst, is het daarnaast belangrijk een beeld te krijgen hoe ver de ontwikkeling van de autonome voertuigen vandaag al staat. Er wordt

gekeken naar huidige toepassingen in de praktijk, maar ook naar de grootste struikelblokken waar autonome voertuigen nog tegenaan lopen.

Deelvraag 2: *"Hoe ver staan de ontwikkelingen van autonome voertuigen en wat zijn de grootste uitdagingen?"*

In de derde deelvraag worden de eerste twee deelvragen samengebracht. Er wordt dieper ingegaan op hoe autonome voertuigen nu precies een antwoord gaan kunnen bieden op de uitdagingen in het wegtransport besproken in deelvraag 1.

Deelvraag 3: *"Hoe kunnen autonome voertuigen een antwoord bieden aan problemen in de logistiek?"*

De vierde deelvraag gaat dieper in op de visie van bedrijven en openbare instanties rond autonome voertuigen. Hoe zien zij de toekomst van autonome voertuigen en wat zijn hun verwachtingen.

Deelvraag 4: *"Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?"*

1.3 Methodologie

In deze masterthesis wordt er eerst een kwalitatief onderzoek uitgevoerd om een theoretisch kader te vormen rond de centrale onderzoeksvraag: 'Autonome voertuigen en hun opportuniteiten in de logistiek' en de aansluitende deelvragen.

Het kwalitatief onderzoek zal gebeuren aan de hand van een literatuurstudie. Deze wordt geschreven op basis van wetenschappelijke bronnen uit databanken beschikbaar gesteld door de Universiteit Hasselt. Voorbeelden zijn de Universiteitsbibliotheek UHasselt, Google Scholar, Science direct en Web of Science. De zoektermen gebruikt bij het doorzoeken van deze databanken naar relevante literatuur zijn gebaseerd op termen die vaak terugkwamen in uiteenlopende artikels die relevant konden zijn voor het onderzoek. Er is voor het starten van dit onderzoek eerst een soort verkennend onderzoek uitgevoerd om een beeld te krijgen van de belangrijkste begrippen gelinkt aan de onderzoeksvraag. Enkele voorbeelden van veel voorkomende begrippen, waarop de zoektermen zijn gebaseerd: 'Autonomous vehicles', 'Logistics', 'Congestion', 'Carbon emissions', 'Artificial intelligence', 'Last mile delivery', 'Environment', 'Safety', 'Drivers', 'Road transport', 'Multimodal transport', etcetera.

Over de laatste ontwikkelingen van autonome voertuigen en de technologieën hierrond is er niet veel informatie te vinden in wetenschappelijke artikels. Om hier informatie rond te vinden wordt er daarom vooral gekeken naar vakliteratuur en bedrijfsrapporten. Om ook van deze informatie de betrouwbaarheid te garanderen wordt er extra kritisch gekeken naar bepaalde zaken. Er wordt rekening gehouden met de bron van de vakliteratuur of rapport, zoals dat van een gerenommeerd bedrijf of (overheids-)instantie. Daarbovenop wordt er rekening gehouden met de transparantie van de bronnen, hoe ze aan bepaalde data komen en of deze data nauwkeurig en valide informatie weergeven. Dit door extra te controleren waar ze de data vandaan halen en of deze correct werden geïnterpreteerd.

Op basis van de theoretische kennis opgedaan uit de literatuurstudie wordt er ook een empirisch onderzoek uitgevoerd om een nog breder en actueel beeld te krijgen van de invloed van autonome voertuigen in het goederenvervoer. In deze thesis wordt er gekozen voor een kwalitatief empirisch onderzoek om nieuwe kennis en inzichten te vergaren over het onderwerp. Namelijk op basis van interviews, gaan experts die in de logistieke wereld actief zijn bevroegd worden over wat zij verwachten van autonome voertuigen wat betreft het goederenvervoer en wat dit kan betekenen voor hun bedrijf of de logistiek in het algemeen. Er worden bewust respondenten uit verschillende bedrijven, met verschillende functies bevroegd om een zo breed mogelijk beeld te kunnen vormen over zowel de huidige percepties als over de toekomstige opportuniteiten of uitdagingen die ze verwachten voor autonome voertuigen in het goederenvervoer.

2. Literatuurstudie

In deze literatuurstudie wordt onderzocht welke opportuniteiten autonome voertuigen met zich kunnen meebrengen in het wegtransport. Hiervoor werden wetenschappelijke studies geraadpleegd, waarvan de bevindingen en resultaten worden besproken en tegen elkaar afgewogen. Om een beeld te kunnen krijgen over de opportuniteiten voor de toekomst, moet er eerst een duidelijk beeld gevormd worden over de problemen die er vandaag zijn. Daarom worden in Sectie 2.1 eerst de huidige problemen in het wegtransport besproken.

Vervolgens wordt er gekeken naar de huidige stand van zaken met betrekking tot autonome voertuigen. Er wordt besproken wat er al mogelijk is, maar vooral wat de tekortkomingen zijn die een verdere implementatie van autonome voertuigen kunnen vertragen.

Nadat er een beeld gevormd is over de uitdagingen waarmee de logistieke sector te maken krijgt de laatste jaren en over de stand van zaken betreffende autonome voertuigen, wordt in sectie 2.3 de link gelegd hoe deze autonome voertuigen een impact gaan kunnen hebben op de huidige uitdagingen.

2.1 Uitdagingen voor het wegtransport

Uit figuur 1 blijkt dat het wegtransport nog steeds de belangrijkste transportmodus is binnen het goederenvervoer. In sectie 1.1 werden de voordelen van dat wegtransport besproken en de redenen waarom het zo moeilijk te vervangen is door andere transportmodi. Ondanks de vele voordelen die het wegtransport biedt aan logistieke bedrijven komen er ook wel wat uitdagingen bij kijken. In deze sectie wordt er dieper ingegaan op de belangrijkste en meest actuele uitdagingen.

2.1.1 Klimaat

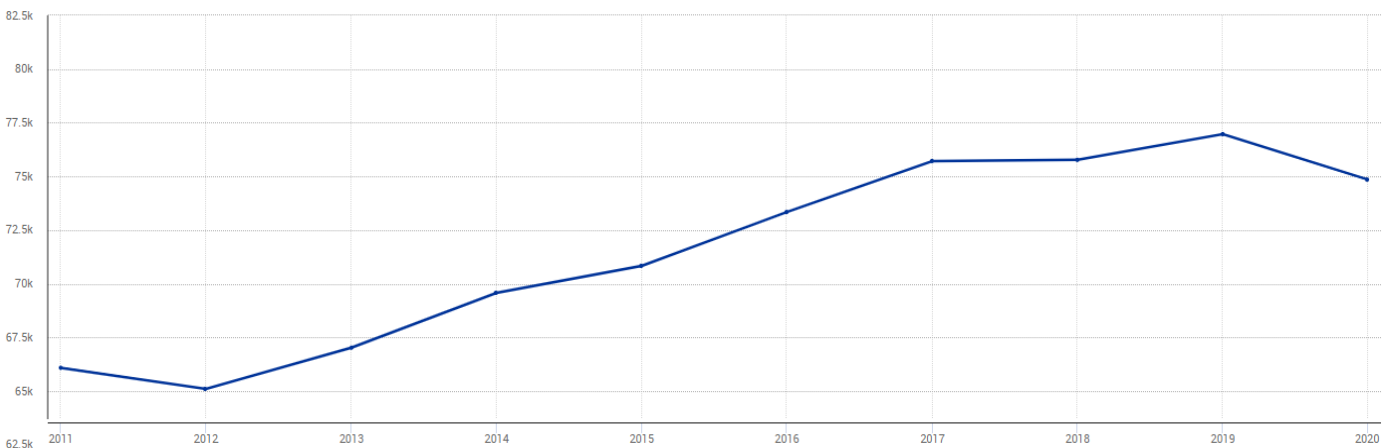
Het klimaat speelt een steeds belangrijker rol in onze maatschappij. De opwarming van de aarde zet zich steeds verder door en het moment om actie te ondernemen is nú volgens de klimaatconferentie van de Verenigde Naties in 2022. De Europese Unie heeft bijvoorbeeld een "Fit for 55" plan opgesteld. Een plan dat tegen 2055 de EU klimaatneutraal moet maken, met een tussentijds doel om in 2030 de uitstoot van de broeikasgassen al te verminderen met 55% tegenover 1990. Om dit doel te bereiken zullen landen en de logistieke bedrijven die zich hierin vestigen op zoek moeten naar vernieuwingen. Het verduurzamen van transport kan hier een belangrijke rol in spelen. Transport heeft namelijk een grote invloed op de uitstoot in de wereld. Zo is het volledige wegtransport, dit bevat zowel goederen- als personenvervoer, verantwoordelijk voor maar liefst 20% van de CO₂-uitstoot in Europa (European environmental agency, 2016).

Een manier om een vermindering in de uitstoot te verwezenlijken is het inzetten op multimodaal transport. Multimodaal transport kan volgens Li en Sun (2022) niet enkel de uitstoot verminderen, maar ook transportkosten verlagen en de transportefficiëntie verhogen. Toch blijft wegtransport met voorsprong de belangrijkste transportmodus in de Europese Unie (zie ook figuur 1 in Sectie 1). Door de toenemende nood aan kleinere en frequentere leveringen in steeds dichter bevolkt gebied (Bauer et al., 2020), zoals wordt besproken in 2.1.3, lijkt het wegtransport moeilijk te vervangen. Wegtransport biedt

logistieke dienstverleners het meeste flexibiliteit en kan instaan voor noodzakelijke deur-tot-deur leveringen (H.Pradeep, 2023) besproken in Sectie 1. Een duurzame en milieuvriendelijke oplossing binnen het wegtransport zelf lijkt daarom een noodzakelijke oplossing om de CO2-uitstoot te verlagen.

2.1.2 Tekorten aan chauffeurs

Een andere uitdaging waar de logistieke sector moeilijk een antwoord op kan vinden is het tekort aan vrachtwagenchauffeurs (Chandiran et al., 2023). Zoals we al zagen in figuur 1, blijft wegtransport het meest gebruikte transportmiddel. Het aandeel van wegtransport in de modal split blijft niet alleen hoog, maar ook de absolute cijfers van het goederenvervoer in het wegtransport, zoals we zien in figuur 4.



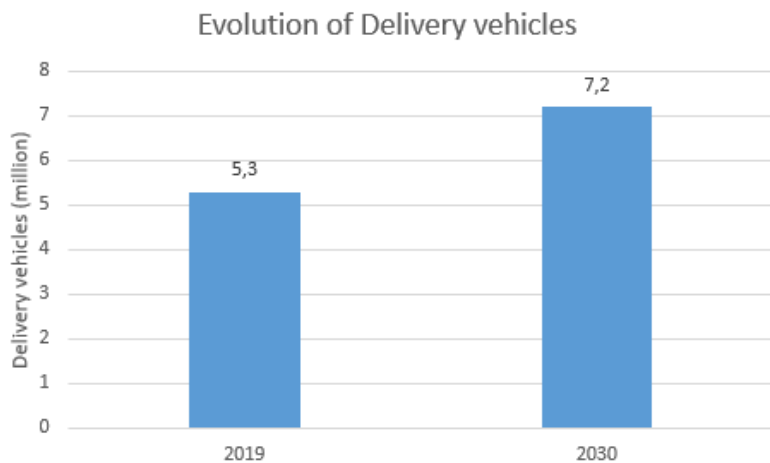
Figuur 4: Tonkilometers van goederen in wegtransport (Eurostat, 2022)

Dat is volgens Romanow en Fras (2022) één van de redenen waardoor het tekort aan chauffeurs groeit. In 2021 bleven in Europa alleen al maar liefst 425 000 vacatures voor vrachtwagenchauffeurs onvervuld (Hestens, 2022). Ook sociale en economische redenen dragen bij aan het tekort aan chauffeurs. Één van de redenen is de verloning die de chauffeurs krijgen voor hun werk; deze is vaak niet competitief met andere sectoren (Phares en Balthrop, 2022). Een andere reden zijn de werkomstandigheden, deze zijn slecht (Anderson et al., 2017) en bovendien zijn de chauffeurs vaak en lang van huis (Hyland en Allen, 2022). Dit zijn zaken die het beroep van chauffeur niet aantrekkelijk maken en ervoor zorgen dat bedrijven onvoldoende chauffeurs kunnen vinden. Dit tekort aan chauffeurs zorgt voor problemen in de logistiek, aangezien volgens figuur 1, 80% van de leveringen via wegtransport ging in 2020.

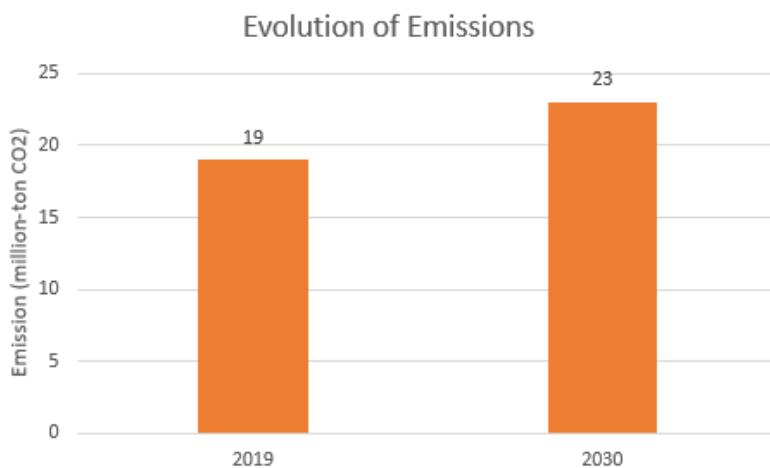
2.1.3 Last mile deliveries

Een derde uitdaging waar logistieke ketens een antwoord op moeten bieden zijn de last mile deliveries. Door de opkomst van e-commerce is er een stijging in het aantal orders en zoals te zien in figuur 5 brengt dit een stijging in het aantal actieve goederenvoertuigen met zich mee in de top 100 steden wereldwijd om hieraan te kunnen voldoen (Ha et al, 2022). Naast deze stijging worden er ook steeds snellere en meer flexibele levermethodes verwacht. Door deze verandering in de verwachtingen is last mile delivery in plaats van iets extra, iets onmisbaar geworden voor bedrijven (Bauer et al., 2020); een evolutie die op meerdere vlakken problemen zal vormen, vooral in de meer stedelijke gebieden. Last

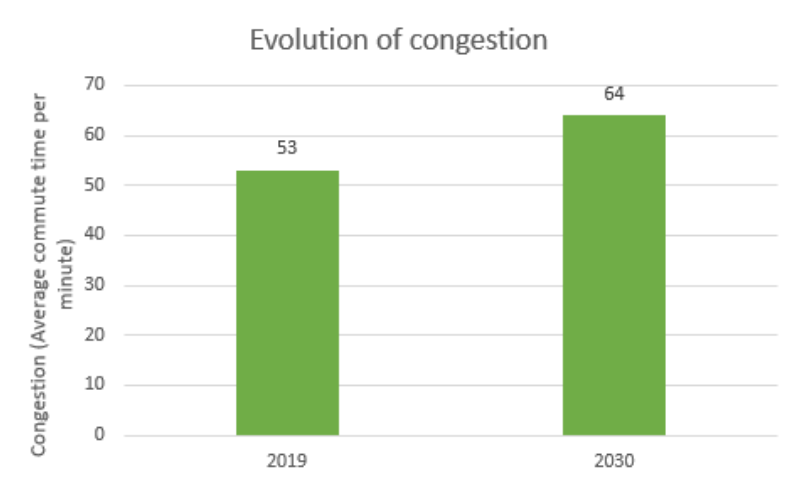
mile deliveries worden namelijk gezien als een van de meest vervuilende, inefficiënte en dure schakels in de supply chain (Boysen et al., 2020; Mangano and Zenezini, 2019). Vooral uitdagingen op vlak van milieu en congestie zoals we zien in figuren 6 en 7 zullen hieruit voortkomen.



Figuur 5: Verwachte evolutie van goederenvoertuigen tegen 2030 door last mile deliveries in de top 100 steden wereldwijd (Ha et al., 2022)



Figuur 6: Verwachte evolutie van CO2-uitstoot tegen 2030 door last mile deliveries in de top 100 steden wereldwijd (Ha et al., 2022)



Figuur 7: Verwachte evolutie van congestie tegen 2030 door last mile deliveries in de top 100 steden wereldwijd (Ha et al., 2022)

Naast deze uitdagingen komt er ook bij dat last mile deliveries erg duur zijn voor logistieke bedrijven. Statistieken schatten dat last mile deliveries 13 tot 51% uitmaken van de totale supply chain cost (Millar, 2016; Skiver en Godfrey, 2017). Met de lage winstmarges die er vandaag al zijn in de logistieke sector brengt dit nog een extra uitdaging met zich mee waarop logistieke bedrijven een antwoord zullen moeten bieden (Vargas et al., 2018).

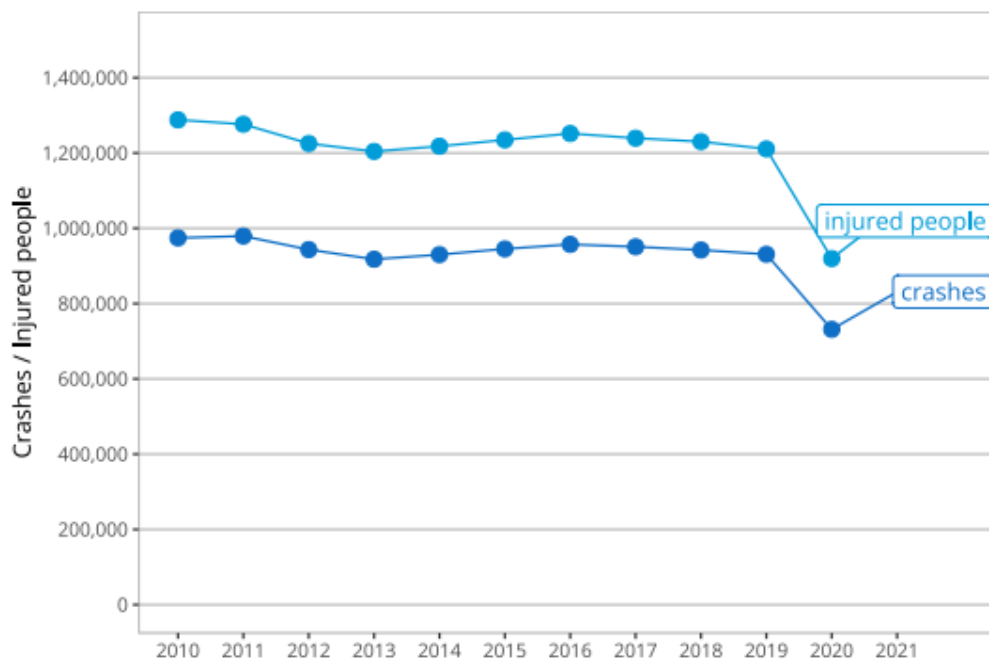
2.1.4 Congestie

Een vierde probleem is de congestie in het verkeer. Congestie in het verkeer hangt rechtstreeks samen met het aantal voertuigen op de weg. De stijgende hoeveelheid wegtransport die we eerder al hebben besproken zal dus ook hier invloed op hebben. De stijging van de verkeerscongestie zet op zijn beurt druk op de kost voor logistieke bedrijven. Congestie zorgt namelijk voor inefficiëntie in de supply chain, waardoor voertuigen langer doen over hun traject. Hierdoor verliezen bedrijven kostbare tijd van middelen die niet beschikbaar zijn voor andere ritten, maar vooral van chauffeurs die zoals besproken in 2.1.2 al schaars zijn. Daarnaast zorgt filevorming voor een extra verlies van benzine en dus ook extra CO₂-uitstoot en komt hier de factor van klimaat ook opnieuw bij kijken (Pi et al., 2019). Het Centre for Economics and Business Research (2013) voorspelt voor de vier grote landen Frankrijk, Duitsland, Groot-Brittannië en de Verenigde Staten zelfs een stijging van de kosten veroorzaakt door de toenemende congestie van 239,5 miljard in 2020 tot maar liefst 293,1 miljard in 2030.

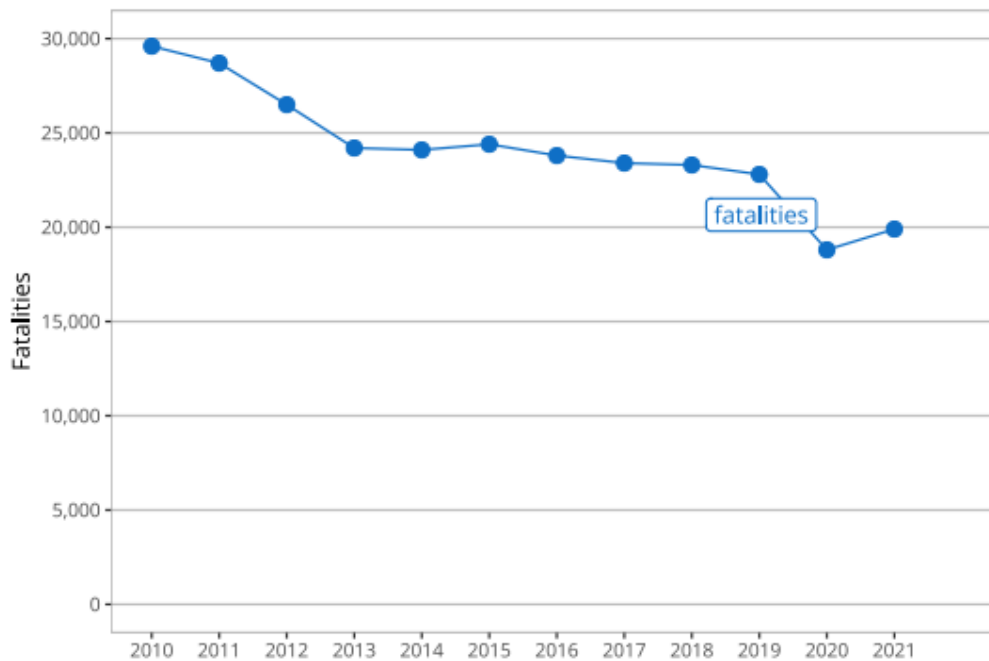
De e-commerce laat zich ook voelen in de stad. De enorme stijging in E-commerce zorgt vooral voor een stijging van de levering van pakketjes (Vakulenko et al., 2019). Pakketjes waarvan mensen verwachten dat ze aan de deur geleverd worden en dit binnen steeds kortere levertermijnen. Deze eisen zetten druk op de last mile deliveries zoals net besproken, maar dan vooral in steden (Xuezhen et al., 2019). Doordat er meer en frequente leveringen vervuld moeten worden zal er meer vrachtvervoer zijn en dit zal vooral in de steden zorgen voor meer verkeerscongestie (Ballare & Lin, 2020).

2.1.5 Veiligheid

Door de steeds groeiende economie stijgt ook de hoeveelheid voertuigen op de weg. Dit beïnvloedt het aantal ongevallen in het verkeer en zorgt voor nieuwe uitdagingen voor weggebruikers (Brueckner & Lederman, 2018; Jones, 2010). Volgens Peleckiene et al. (2022) zijn Europese wegen de veiligste ter wereld. Toch zijn er volgens figuren 8 en 9 nog steeds meer dan een miljoen gewonden en meer dan 20 000 doden per jaar. De felle daling in 2020 in figuren 8 en 9 is gerelateerd aan de veel lagere verkeersvolumes tijdens de COVID-19 epidemie (Yasin et al., 2021).



Figuur 8: Verkeersongevallen en gewonden in de Europese Unie (European Road Safety Observatory, 2022)



Figuur 9: Verkeersdoden in de Europese Unie (European Road Safety Observatory, 2022)

In 2010 had de Europese Unie het ambitieuze doel om tegen 2020 het aantal verkeersdoden te halveren (Peleckiene et al., 2022). Zoals in figuur 9 te zien bleek dit een te ambitieus doel, aangezien ze zelfs met de lagere verkeersvolumes tijdens COVID (Yasin et al., 2021) maar aan een daling van ongeveer 40% komen. Toch blijft volgens het European Transport Safety Council (2019) de lange termijn doelstelling duidelijk: een halvering van het aantal verkeersdoden tegen 2030. Om dit doel te bereiken en eventueel zelfs te overtreffen zijn alle extra zaken die kunnen helpen welkom.

2.2 Hoe ver staan de ontwikkelingen van autonome voertuigen en wat zijn de grootste uitdagingen?

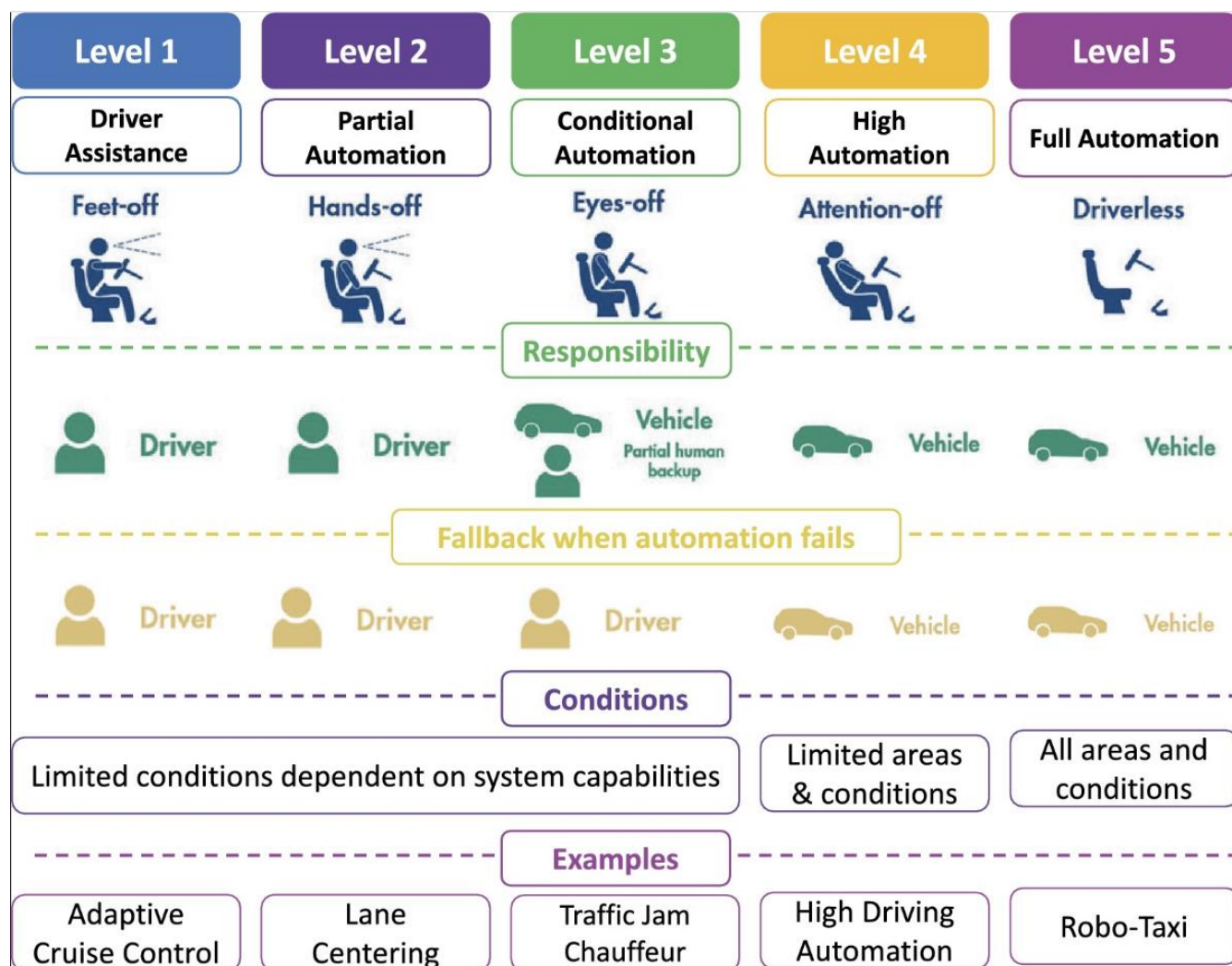
In dit tweede gedeelte van de literatuurstudie wordt er eerst dieper ingegaan op de huidige stand van zaken wat betreft autonome voertuigen in de logistiek. Daarna worden de uitdagingen besproken die deze autonome voertuigen voorlopig tegenhouden om geïmplementeerd te worden in het transport.

Voertuigen worden in dit onderzoek onderverdeeld in zes levels van automatisatie, zoals gedefinieerd door de Society of Automotive Engineers (2014), gaande van level 0 (volledig manueel) tot level 5 (volledig autonoom). Hoe beter een autonoom voertuig kan reageren op onzekerheden zonder tussenkomst van personen, hoe hoger het level van automatisatie (Fridman, 2018).

De levels van automatisatie worden volgens de Society of Automotive Engineers (2018) als volgt gedefinieerd:

- Level 1: De rijassistentie kan de chauffeur soms bijstaan bij het uitvoeren van laterale of longitudinale rijbewegingen. Voorbeelden van level 1 zijn *adaptive cruise control* en *lane-keep assistance*
- Level 2: Voertuig is zelf verantwoordelijk voor laterale en longitudinale rijbewegingen in gelimiteerde condities. De chauffeur moet zelf opmerken als het systeem faalt en ingrijpen. Onder level 2 valt bijvoorbeeld *advanced driving assistance systems (ADAS)*. ADAS is een verzamelnaam voor een reeks technologische functionaliteiten die het voertuig meer autonoom kunnen laten werken. Functionaliteiten zoals ook *adaptive cruise control*, maar ADAS omvat meer dan dat. Ook het sturen overnemen, zelf accelereren, vertragen en zelfs volledig stoppen in specifieke scenario's, parkeerassistentie, herkennen van verkeersborden, enzovoort.
- Level 3: Het voertuig is verantwoordelijk voor laterale en longitudinale rijbewegingen in druk verkeer of op snelwegen. In geval van onverwachte gebeurtenissen zoals bijvoorbeeld een ongeval op de rijweg in de buurt van het voertuig, kan het voertuig hier niet snel op reageren indien nodig en is er tussenkomst van de chauffeur nodig. Vanaf level 3 kan de auto zelfstandig rijden, maar enkel onder ideale omstandigheden en met beperkingen zoals bijvoorbeeld op een duidelijk afgebakende snelweg met gelimiteerde snelheid. Zijn de omstandigheden niet meer perfect, moet de chauffeur overnemen.
- Level 4: Het voertuig is verantwoordelijk voor alle laterale en longitudinale rijbewegingen. Aanvoelen, monitoren en reageren op gebeurtenissen vallen allemaal onder de verantwoordelijkheid van het autonome voertuig. Toch kan het voertuig in bijzondere gevallen de tussenkomst van personen verwachten. Als het voertuig de tussenkomst van de chauffeur verwacht zal het dit steeds zelf aangeven. Vanaf level 4 zal de tussenkomst enkel nodig zijn in ongewone situaties zoals bijvoorbeeld hevige sneeuw.
- Level 5: Voertuigen kunnen automatisch rijden, ongeacht onder welke condities. Ook als er problemen zijn met het zelfrijdende systeem wordt dit opgevangen door het autonome voertuig. In level 5 is de chauffeur volledig vervangen door het voertuig. Enkel een bestemming is nodig voor het voertuig, een stuur en pedalen kunnen hier zelfs achterwegen gelaten worden.

In figuur 10 wordt een duidelijk overzicht gegeven, met voorbeeld:



Figuur 10: Levels van automatisatie (SAE-International, 2018)

2.2.1 De evolutie van autonome voertuigen van 1986 tot nu.

In deze sectie worden eerst de technologische ontwikkelingen met een revolutionaire impact op autonome voertuigen besproken. Door hun grote invloed op de ontwikkeling van autonome voertuigen, is het belangrijk om deze in het achterhoofd te houden bij het bespreken van de evolutie van autonome voertuigen. Erna wordt er ingegaan op de relevante momenten in de effectieve evolutie van autonome voertuigen. De evolutie die hier wordt weergegeven is geen volledig overzicht van alle evoluties en doorbraken in de wereld van autonome voertuigen. Dit is een overzicht gebaseerd op de publieke info die terug te vinden is in de vakliteratuur en in bedrijfsrapporten. Het overzicht geeft wel een beeld van de grote lijnen van de ontwikkelingen doorheen de tijd. Om de sectie af te sluiten worden uiteindelijk nog de technologische ontwikkelingen die de toekomst van autonome voertuigen mee kunnen veranderen besproken en wordt er kort ingegaan op welke manier deze technologische ontwikkelingen dit gaan kunnen doen.

2.2.1.1 Impactvolle technologische ontwikkelingen

In deze sectie worden drie zeer ingrijpende ontwikkelingen besproken waar elk autonoom voertuig baat bij heeft gehad en in de toekomst, als deze zaken nog verder worden geperfectioneerd, nog meer baat bij zullen hebben. De eerste ontwikkeling was de eerste introductie van LiDAR technologie in 2017, een belangrijk punt in de verdere ontwikkeling van autonome voertuigen. LiDAR werd een onmisbare functie binnen de autonome voertuigen aangezien het superieur is ten opzichte van andere radars die de omgeving detecteren. LiDAR is volgens Balleit & Mahaffee (2017) de meest betrouwbare sensor voor een nauwkeurige positionering van de voertuigen. LiDAR heeft een sterk anti-interferentie vermogen en detecteert met een hoge nauwkeurigheid en vanop een verre afstand (Liu et al., 2020). LiDAR zal samen met camera's en radar de oplossing zijn voor toekomstige autonome voertuigen (Darlington, 2018). Het enige nadeel is dat deze technologie momenteel nog erg duur is.

Vanaf 2018 werd ook Artificial Intelligence (AI) geïmplementeerd in de auto-industrie. AI wordt door computers gebruikt op een manier zoals mensen hun intelligentie gebruiken. Door concepten als machine en deep learning kunnen de voertuigen bijvoorbeeld helpen bij het detecteren van objecten, cruise control en met navigatie (Vinyas & Nanjundeswaraswamy, 2019). Artificial intelligence heeft de belangrijkste technologieën voor autonome voertuigen naar een hoger niveau weten te tillen (Ning et al., 2021). Ondanks al de verwezenlijkingen van AI in autonome voertuigen de laatste jaren zijn er nog steeds uitdagingen waar voorlopig geen antwoord op wordt gevonden. De systemen zijn momenteel erg data gefocust, waardoor ze moeilijk om kunnen met onbekende situaties en slecht causaliteit kunnen vastleggen. Het lijkt onmogelijk om enkel op basis van data de menselijke intelligentie na te bootsen (Zheng et al., 2017). Het implementeren van de cognitieve vaardigheden van de mens om zo een nieuwe vorm van AI te ontwikkelen, namelijk Hybrid-augmented intelligence, kan hiervoor een oplossing bieden (Zheng et al., 2017).

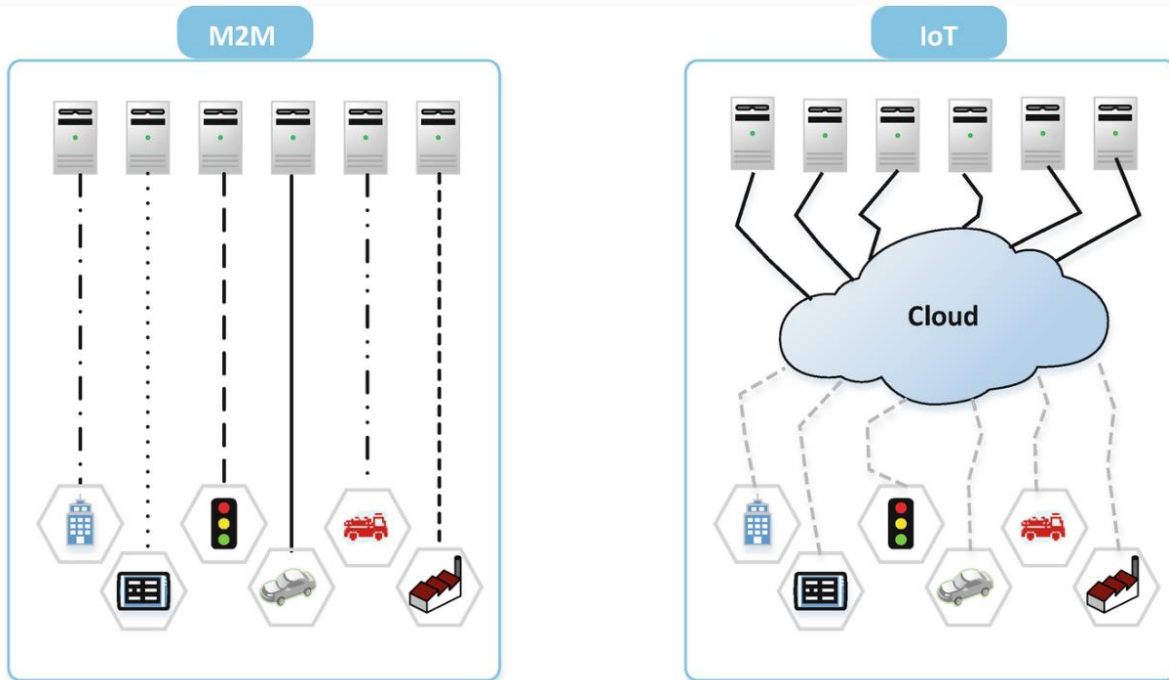
Ook het Internet of Things (IoT) en cloud computing werden geïntroduceerd en deze technologieën hangen nauw samen met AI, het zijn eigenlijk krachtige middelen die het gebruik van AI kunnen versterken. In figuur 11 wordt de evolutie naar IoT weergegeven. Het is technologie die ervoor zorgt dat fysieke objecten, zoals bijvoorbeeld gebouwen en andere voertuigen via het internet verbonden zijn met de cloud en hierdoor ook met elkaar. Op deze manier kunnen deze geconnecteerde objecten volledig autonoom data verzamelen en met elkaar delen in plaats van elk object afzonderlijk naar een server (Khayyam et al., 2019). Voertuigen maken reeds gebruik van IoT om optimaal te kunnen presteren. IoT wordt bijvoorbeeld al gebruikt om de software in voertuigen te updaten. Eigenaars hoeven hiervoor niet meer langs te gaan bij de garage, fabrikanten zijn in staat om al hun voertuigen simpel vanop afstand te laten updaten. Ook bij het gebruik van ADAS, een voorbeeld besproken bij level 2 autonome voertuigen in sectie 2.2, maakt Tesla gebruik van IoT om data te verzamelen en te verwerken. Al deze data wordt verstuurd naar een netwerk, een netwerk waar alle Tesla voertuigen mee zijn verbonden waardoor het voertuig niet alleen veilig zelf kan rijden, vertragen en versnellen, maar ook de bestuurder beter kan bijstaan bij onverwachte gebeurtenissen (Deepali, 2022; Rastogni, 2022). Volgens Elon Musk is het netwerk zelfs zo sterk dat als één Tesla iets leert, alle Tesla's dit leren (Rastogi, 2022). Een laatste

voorbeeld van een toepassing van IoT in voertuigen is de connectie met een applicatie op je gsm, de applicatie laat je toe om bijvoorbeeld het voertuig al voor te verwarmen in de winter, de status van de batterij te controleren bij elektrische voertuigen tot zelfs het automatisch laten in en uit parkeren van voertuigen in krappe parkeerplaatsen door een knop in de applicatie (Deepali, 2022). Dit zijn maar enkele voorbeelden om aan te tonen dat IoT momenteel al meerdere toepassingen kent in voertuigen die op markt verkrijgbaar zijn.



Figuur 11: Interactie model voor een autonoom voertuig in IoT ecosysteem (Khayyam et al., 2019)

Door IoT op te nemen in het AI-verhaal kunnen zes belangrijke componenten van het verkeer met elkaar in contact staan. Door zowel voertuigen, chauffeurs, persoonlijke apparaten, netwerk infrastructuur, infrastructuur zoals verkeersborden en -lichten en ook allerlei sensoren in het verkeer met elkaar te connecteren zijn er volgens Khayyam et al. (2019) meerdere voordelen aan deze connectiviteit. Bepaalde verkeerssituaties, wegcondities, waarschuwingen of andere zaken in verband met het verkeer kunnen nu makkelijk gecommuniceerd worden. De connectiviteit kan dus een positieve invloed hebben op de efficiëntie van de voertuigen, zorgen voor meer veiligheid, minder ongevallen en voor een vlotter verloop van het verkeer in het algemeen. De sensoren en camera's in autonome voertuigen alleen al kunnen tot 2 miljoen GB aan data genereren per jaar (Takhur & Mishra, 2023). Al die gegenereerde data moet ook ergens bijgehouden worden en ergens vanaf gehaald kunnen worden door de geconnecteerde objecten. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van Cloud computing zoals te zien in figuur 12.7. Deze Cloud fungeert als een soort centrale databank waar de servers van de Cloud nuttige informatie kunnen uithalen door bepaalde data-analyses. Cloud computing zorgt kort samengevat voor een vlotte beschikbaarheid van al deze data en dat alle verbonden zaken in het netwerk vlot kunnen communiceren met elkaar (Hakak et al., 2023).



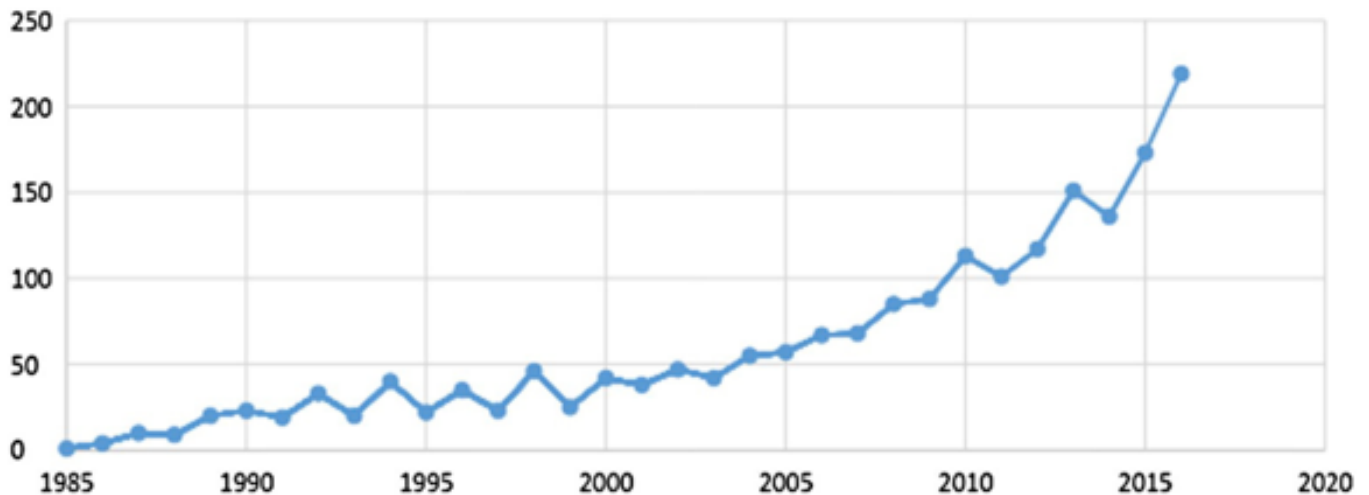
Figuur 12: Het verschil in data uitwisseling tussen machine to machine en Internet of Things connectiviteit met gebruik van de Cloud voor autonome voertuigen (Khayyam et al., 2019)

2.2.1.2 Personenvoertuigen

In Europa werden de eerste stappen naar autonome voertuigen reeds in 1986 gezet. Meer dan 13 bedrijven, samen met overheden en universiteiten van 19 landen, startten het PROMETHEUS-project. Dit stond voor PROgram for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety waarbij verschillende methodes tot intelligente transportsystemen, waaronder ook autonome voertuigen, werden ontwikkeld, geïmplementeerd en getest (Bertozzi et al., 2000). Een van de eerste grote testen in de Verenigde Staten vond plaats in 1995 (Jochem & Pomerlau, 1995). Op ongeveer datzelfde moment begonnen ook de eerste grote testen in Europa. Een autonoom voertuig reed toen van Duitsland tot Denemarken in 1996 en in 1998 werd het ARGO-project in Italië uitgevoerd. Bij deze testen reed een voertuig tussen de 90 en 98% autonoom met behulp van primitieve technologische systemen (Maurer et al., 1996; Broggi et al., 2000). In deze eerste fase werd er vooral gefocust op autonome voertuigen op de snelweg. Om tot zo een hoge percentages van autonoom rijden te komen waren er wel ideale omstandigheden nodig, zoals vlakke wegen zonder bochten en met duidelijke wegmarkeringen (Broggi et al., 2000).

Naargelang er meer onderzoek werd gedaan naar autonome voertuigen (Figuur 13), konden er ook steeds grotere stappen gezet worden in de toepassingen ervan. In 2005 werden er experimenten gedaan met de Cycab, een voertuig gelijkend op een auto dat gebruik maakt van een dubbel sturingsmechanisme. Hierdoor kon de Cycab zowel met de voorste als achterste as draaien en daarom makkelijker manoeuvreren (Pradalier et al., 2005). De Cycab maakt al gebruik van technologieën waarbij het voertuig autonoom kan rijden door de omgeving in kaart kan brengen, zijn weg zo kan

plannen en obstakels kan vermijden (Pradalier et al., 2005). Deze autonome voertuigen lijken dan alvast veelbelovende alternatieven in dichtbevolkte gebieden (Urmson & Whittaker, 2008), ze moesten echter geen rekening houden met verkeersregels of plotse onverwachte situaties in het verkeer. Bovendien voerde de Cycabs dit alles uit aan een zeer lage snelheid.



Figuur 13: Aantal wetenschappelijke papers in de Institute of Electrical and Electronics Engineers, de grootste professionele organisatie ter wereld gespecialiseerd in ontwikkelen van technologie ten voordele van de mens, in de ontwikkelingen over autonome voertuigen doorheen de tijd (Duarte & Ratti, 2018)

In 2007 vond er een Urban challenge plaats in de Verenigde Staten waarbij voertuigen een vastgelegde route moesten volgen. Het grote verschil met de Cycab van 2005 is dat de zes autonome voertuigen een route vervulde waarbij ze zich moesten houden aan de verkeersregels, een antwoord bieden op geblokkeerde routes en zich moesten kunnen manoeuvreren rond vaste en bewegende obstakels (Defense Advanced Research Projects Agency, 2012). Kortweg een antwoord bieden op alledaagse verkeerssituaties, maar met een zo snel mogelijke reactietijd volgens de manager van de Urban challenge Ron Kurjanowicz (2005).

Sinds 2009 is ook Google zich gaan bezighouden met het ontwikkelen van autonome voertuigen met het doel voor ogen om hun autonome voertuigen tot level 4 of 5 te ontwikkelen, zodat er geen tussenkomst van de chauffeur meer nodig is als er systemen zouden falen. In 2015 is Google deze voertuigen beginnen testen op openbare wegen en in meer stedelijke gebieden (Teoh & Kidd, 2017). Deze voertuigen zetten opnieuw grote stappen door in stedelijke gebieden met veel actoren te rijden. Hiervoor gebruikt Google wel voertuigen met dure technologieën (N.Daniel, 2016) die niet betaalbaar zijn voor transportbedrijven of particulieren. Ook Tesla bracht respectievelijk eind 2015 en begin 2016 Autopilot en Summon uit, functionaliteiten die eigenaars van een Tesla konden gebruiken in hun dagelijks gebruik. Door middel van de Autopilot kan de auto hands-free rijden en zelf van rijvak wisselen.

Summon zorgt voor de mogelijkheid om je auto te parkeren zonder dat je in de auto moet zitten (Dikmen & Burns, 2016).

Tesla stelt, net als Ford en General Motors (Tarantola 2023), momenteel een Level 2 automatisatie systeem (*Enhanced autopilot*) ter beschikking in hun auto's voor een meerkost van 6000 dollar. Met deze optie kan de wagen zelf navigeren via autopiloot, maar enkel op snelwegen. Autopiloot omvat meerdere functies: de auto kan zelf van rijvak wisselen bij het op- en afrijden van de autostrade, cruise control; bewust van al het verkeer om zich heen met de optie om volledig zelf te stoppen en ook weer te starten met rijden en automatisch sturen waarmee auto's ook kunnen worden ingehaald. Bovendien kan de auto ook zelf parkeren en via de *Smart summon* zelfs volledig autonoom de chauffeur oppikken op een parking zoals te zien in figuur 14.



Figuur 14: Voorbeeld van de Smart summon functie van Tesla (Tesla, 2023)

Voor nog eens 9000 dollar extra biedt Tesla ook verkeerslichten- en stopbordcontrole aan. De auto kan dan vertragen en stoppen als er verkeerslichten of een stopbord wordt gedetecteerd. Ook hier moet de chauffeur steeds alert zijn om in te grijpen.

In januari 2023 kondigde Mercedes aan dat ze als eerste en enige autobedrijf level 3 automatisatie konden aanbieden op de markt, zij het enkel goedgekeurd in de staat Nevada in de Verenigde Staten en enkel beschikbaar tot een snelheid van 40 mph. Het grote verschil met de level 2 automatisatie van Tesla, Ford en General Motors is dat de chauffeur minder alert moet zijn en zijn ogen kan afwenden van de weg (Hawkins, 2023).

In de staat Californië in de Verenigde Staten zijn er momenteel zelfs al level 5 autonome personenvoertuigen actief. Meer bepaald in Noord-Californië is een dochterbedrijf van Amazon genaamd

Zoox actief dat medewerkers van Amazon vervoert tussen twee sites en in San Francisco maken sinds 2023 Robotaxi's van bedrijven Waymo en Cruise deel uit van het transportatiesysteem van de stad. Deze laatste twee willen zelfs uitbreiden naar nabijgelegen steden, al zijn de gevolgen op grotere schaal momenteel moeilijk te voorspellen. De situatie met deze Robotaxi's is wel niet te vergelijken met persoonlijke autonome voertuigen op de openbare weg. De Robotaxi's kunnen binnen afgeleide gebieden werken waarbinnen ze getraind zijn, bij extreme weersomstandigheden kunnen ze makkelijk van straat gehaald worden en de bedrijven verantwoordelijk voor de taxi's kunnen het gebruik ervan nauwkeurig in de gaten houden (Korosec, 2023; Schneider, 2023).



Foto 1: Autonoom personenvervoer in een voertuig van Zoox (Zoox, 2023)

2.2.1.3 Goederenvervoertuigen

De eerste ontwikkelingen en testen met betrekking tot goederenvervoer vonden plaats in 1990. Door de moeilijkheden met het vinden van chauffeurs en gevaarlijke en moeilijke situaties bij het ontginnen van mijnsite in Australië werd er gebruik gemaakt van *field management software*. Op basis van navigatie door radar, lasers en het gebruik van vaste punten waar de trucks moesten passeren voor oriëntatie. Monitoren en ingrijpen gebeurde wel nog door personen die steeds alert moesten zijn in het *operation center* (Flämig, 2016).

In de vakliteratuur vinden we dat in januari 2011 een volgende relevante ontwikkeling plaatsvond, waarin het SARTRE-project (Safe Road Trains for the Environment) testen uitvoerde met *platooning*. De definitie van *platooning* is dat er een rij van voertuigen gevormd wordt waarbij het eerste voertuig bestuurd wordt door een professionele chauffeur en dat de voertuigen die volgen zowel lateraal als longitudinaal autonoom worden bestuurd. In de voertuigen die volgen moet er wel nog steeds een chauffeur aanwezig zijn, maar zij hebben de mogelijkheid om zich op andere zaken te focussen, zoals bijvoorbeeld bezig zijn met hun gsm. Ze moeten gewoon kunnen overnemen als er zich problemen voordoen met de *platoon*. Het doel van dit project was om de chauffeurs in de autonome voertuigen tijd te geven om andere dingen te doen, de veiligheid te verhogen en het verbruik van de voertuigen te verlagen.

In 2012 werden de eerste toepassingen van autonome vrachtwagens in Europa gebruikt, zij het enkel op de productiesite zelf, in een zuivelbedrijf in Duitsland. Via een *lane-guidance* systeem dat via een sensor markeringen op de grond kan volgen kan de vrachtwagen heen en weer rijden tussen het magazijn en het productiegebouw zonder een chauffeur in het voertuig. Lasers die de omgeving kunnen scannen en een noodstop die nog beheerd wordt door personen zorgen voor de veiligheid van mensen, de goederen en het voertuig zelf (Dermuth, 2013). In 2013 testte Scania, een bedrijf dat vrachtwagens verkoopt, een vrachtwagen die op zichzelf kon versnellen, remmen en sturen tot een maximumsnelheid van 50 km/h (Brüninglinghaus, 2014) en in 2014 ging Daimler nog verder. Daimler had een vrachtwagen die tot 85km/h kon rijden tussen andere voertuigen op een gesloten stuk van de snelweg. Enkel om veiligheidsredenen mocht deze toepassing niet op de openbare weg getest worden (Grünweg, 2014). Zowel bij de vrachtwagen van Scania als Daimler moet er wel nog steeds een chauffeur in het voertuig zitten.

Pas in 2016 werd de eerste levering van goederen via de openbare weg uitgevoerd door startup Otto, gevestigd in Californië. Er werden toen 50 000 blikjes bier over 120 mijl vervoerd doorheen de staat Colorado (Monios & Bergqvist, 2019). De chauffeur was wel nog steeds verantwoordelijk voor het rijden over de kleinere wegen en de autonome modus werd enkel geactiveerd op goedgekeurde delen van de hoofdwegen. Tijdens de autonome modus kon de chauffeur wel zijn cabine verlaten, wat aantoont dat op dat moment de autonome vrachtwagen wel al level 4 van automatisatie heeft (Monios & Bergqvist, 2019).

Het bedrijf Tusimple heeft in 2021 een eerste volledig autonome rit afgelegd zonder chauffeur in de vrachtwagen. Hierbij werden er wel nog extra veiligheidsmaatregelen genomen bovenop het standaard "driver-out" veiligheids framework zoals te zien in figuur 15, waarin Tusimple zichzelf al zeer strenge standaarden oplegt betreffende veiligheid. In deze autonome rit die wordt weergegeven in figuur 16, reed een vrachtwagen 5 tot 6 mijl voor de autonome vrachtwagen om te controleren of er geen situaties waren die de vrachtwagen van zijn vooropgestelde route kon brengen. Een tweede vrachtwagen reed achter de autonome vrachtwagen om zo steeds visuele controle te hebben over de operatie. In figuur 16 is ook nog te zien dat er een verplichte politie-escorte achter de laatste vrachtwagen reed. Dit werd enkel ter observatie verplicht door de lokale overheid (Tusimple, 2023).



Figuur 15: De ISO- en andere veiligheidsstandaarden waar Tusimple op inzet (Tusimple, 2023)



Figuur 16: Een visueel voorbeeld van hoe de eerste autonome vrachtwagen zonder chauffeur zijn rit succesvol kon afleggen (Tusimple, 2023)

Als sectie 2.2.1.2 en 2.2.1.3 worden vergeleken kan er afgeleid worden dat de meeste ontwikkelingen in eerst instantie plaatsvinden met betrekking tot personenwagens en dat de toepassingen en testen pas daarna hun weg vinden naar vrachtwagens en goederenvervoer.

Momenteel zijn er in de Verenigde Staten al enkele cases waarbij autonome voertuigen worden gebruikt voor bepaalde delen van het goederentransport. Bijvoorbeeld voor goederenvervoer worden autonome vrachtwagens ingezet om de kilometers op de snelwegen af te leggen. Een gewone vrachtwagen brengt de trailer naar een bepaald punt gelegen aan de snelweg, waar deze aan een autonome vrachtwagen wordt bevestigd die de goederen naar een ander punt aan de snelweg brengt. Daar wordt de trailer dan weer bevestigd aan een vrachtwagen met chauffeur voor de last mile delivery (Monios & Bergqvist, 2019).

Momenteel zijn autonome vrachtwagens commercieel enkel met level 2 automatisatie verkrijgbaar. Vrachtwagens zijn uitgerust met *adaptive cruise control* (Wang, 2020), waarbij de chauffeur zijn voet van het gaspedaal kan halen en de vrachtwagen zelf vertraagd en versneld om de afstand tot de voorligger te behouden en bovendien kan stoppen in noodsituaties.

Een reden waarom er momenteel weinig tot geen commerciële toepassingen van level 3 beschikbaar zijn is omdat veel ontwikkelaars voor autonome voertuigen zich zorgen maken om de veiligheid ervan. Berlinger, verkeers- en productveiligheidsdirecteur bij Volvo zei: "Until someone can actually show a safe way of having a level 3 truck, we are now focusing on level 2 and 4" en Darren Gosbee, de vice directeur van Navistar, een producent van vrachtwagens, treedt Berlinger bij en stelt dat ook zij level 3 gaan overslaan (Gain, 2019). Bij level 3 kan het voertuig volledig zelf rijden en zoals eerder al aangehaald bij het voorbeeld van Mercedes zijn ogen afwenden van de weg. Toch kan de auto nog steeds aangeven dat de chauffeur moet overnemen en daar ligt het risico. Chauffeurs die op het ene moment totaal niet hoeven op te letten, moeten plots toch overnemen. Het is een vage lijn wanneer het voertuig melding moet geven om over te nemen en of het voertuig steeds kan herkennen wanneer het dit moet doen (Torchinsky, 2022). Ontwikkelaars zijn dus vooral bezig om level 4 en 5 autonome goederenvervoertuigen op de markt te kunnen brengen in de nabije toekomst, maar op dit moment zijn deze nog nergens commercieel beschikbaar voor autonome vrachtwagens.

Voor Autonome bezorgrobots zijn er momenteel wel al toepassingen beschikbaar met level 4 automatisatie. Het bedrijf Catken bijvoorbeeld heeft in maart 2023 maar liefst 25 000 leveringen uitgevoerd met bijna geen interventie van personen. Enkel op afstand zijn er operators beschikbaar voor als er iets zou misgaan. Het grote voordeel van deze delivery robots is dat ze zich via de stoep kunnen verplaatsen. Autonome delivery robots die zich mengen in het verkeer zijn momenteel nog niet commercieel beschikbaar.

2.2.2 Technologische ontwikkelingen van de toekomst

Zoals in 2.2.1.1 al werd aangehaald hangen onderzoek, ontwikkelingen en testen van autonome voertuigen nauw samen met de evoluties binnen de technologie. Zonder vooruitgang in de relevante technologie voor autonome voertuigen, kunnen autonome voertuigen niet verder ontwikkelen en gaat er niet naar nieuwe levels van autonomie gegroeid kunnen worden.

Om tot bredere toepassingen en verdere ontwikkelingen van autonome voertuigen van level 4 en zelfs level 5 te komen zijn er nog verdere technologische ontwikkelingen nodig om bepaalde beperkingen die er nu nog zijn te overkomen.

De belangrijkste technologische ontwikkelingen die deze verdere evolutie van autonome voertuigen naar een hoger level kunnen brengen zijn:

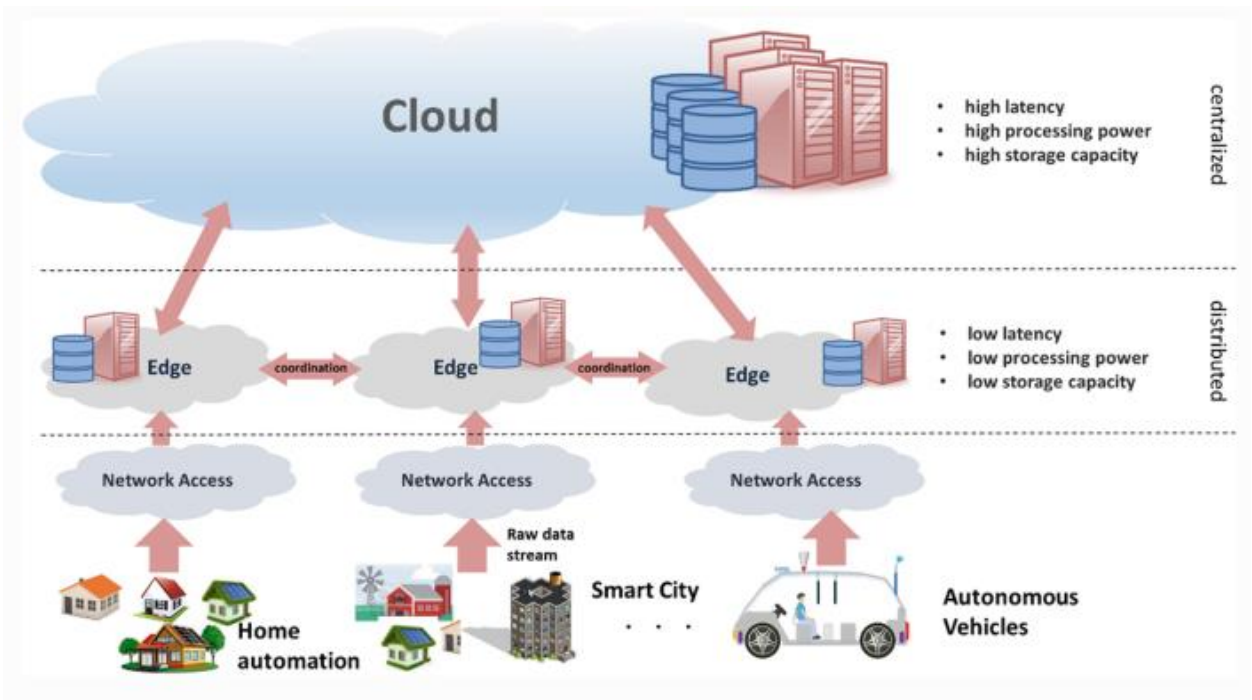
- 5G technologie

5G gaat de sleutel worden om de technologie van het Internet of Things breed toepasbaar te maken voor autonome voertuigen (Alioua et al., 2022). 5G netwerken zorgen voor betere netwerk connecties, connecties die gebruikt kunnen worden om autonome voertuigen sneller, slimmer en veiliger te maken. Door deze 5G connecties kan het Internet of Things dat besproken werd in sectie 2.2.1.1 grote stappen zetten op vlak van veiligheid, netwerk capaciteiten en

betrouwbaarheid (Shancang et al., 2018; Esenogho et al., 2022). Om dit operationeel te krijgen zijn er wel investeringen nodig om het netwerk uit te breiden (Hakak et al., 2023).

- Edge computing

Hoewel Cloud computing veel voordelen biedt en zorgt voor een efficiënt gebruik van data en opslag van deze data, blijken er toch wat tekortkomingen of uitdagingen te zijn die ervoor zorgen dat het Internet of Things moeilijker geïntegreerd kan worden in autonome voertuigen. Een eerste uitdaging die kan voorvallen bij Cloud computing is het transfereren van een grote hoeveelheid data in een keer, dit kan namelijk overhead veroorzaken inzake tijd, energieconsumptie en kosten. Een tweede belangrijk minpunt van de Cloud is dat deze zich fysiek ergens anders bevindt waardoor het soms moeilijk kan zijn om voldoende en vooral zonder vertraging de gevraagde diensten aan te bieden aan de autonome voertuigen. Een laatste tekortkoming is dat de grote hoeveelheid data doorgestuurd naar de cloud onmiddellijk verwerkt zal worden. Dit vergt veel capaciteit van de providers zonder dat dit rechtstreekse voordelen biedt voor applicaties of andere gebruikers (Khayyam et al., 2019). Een technologie die een oplossing kan bieden voor deze uitdagingen is Edge computing, waarbij de data-analyse gebeurt op een netwerk *edge* dichtbij waar de data is ontstaan om op deze manier de hoeveelheid data en overbodige communicaties te verminderen (Cao et al., 2020). Op deze manier zou er dus een extra tussenlaag ontstaan zoals te zien is in figuur 17. Doordat er minder belasting is op het netwerk en de Cloud verlaagd ook het risico op het krijgen van data met vertraging. Een extra voordeel verbonden aan Edge computing is dat het ook veiliger is en de informatie van gebruikers beter bewaart doordat data dichterbij de oorsprong versleuteld wordt en niet in een Cloud omgeving die gedeeld wordt. Om dit alles mooi te integreren met ook nog eens AI zijn er nog verdere aanpassingen nodig (Khayyam et al., 2019).



Figuur 17: IoT ecosysteem met het toevoegen van Edge computing voor autonome voertuigen (Khayyam et al., 2019)

- Artificial intelligence
AI-technologie is gebaseerd op leren en volgt het gedrag van het menselijk brein (Lee et al., 2017). Door het gebruik van algoritmes en specifieke technieken kunnen via AI door middel van grote hoeveelheden data, bepaalde taken aangeleerd worden en kan de AI zelfs verborgen patronen ontdekken (Sestino & De Mauro, 2022). Zoals al eerder besproken zijn er al toepassingen van AI in autonome voertuigen, maar moeten de meer complexere vormen die voor hogere levels van automatisatie zouden kunnen zorgen nog verder ontwikkeld worden (Skeete, 2018).

2.2.3 Uitdagingen voor autonome voertuigen

Ondanks de technologische uitdagingen besproken in sectie 2.2.2 zijn autonome voertuigen doorheen de jaren sterk geëvolueerd. Toch blijven er nog uitdagingen verbonden aan deze autonome voertuigen die beantwoord moeten worden voor er level 4 en 5 autonome voertuigen commercieel beschikbaar kunnen worden gesteld. De uitdagingen die in deze sectie worden besproken zijn niet enkel uitdagingen op vlak van technologie, maar ook zaken betreffende de veiligheid, wetten, verantwoordelijkheden bij ongevallen en ethische kwesties rond het thema van autonome voertuigen.

2.2.3.1 De uitdagingen momenteel nog verbonden aan de LiDAR technologie

De voordelen en het belang van LiDAR technologie voor autonome voertuigen werden al besproken in sectie 2.2.1.1. Desondanks zijn er nog uitdagingen betreffende LiDAR die de ontwikkeling van autonome voertuigen kunnen vertragen en op deze uitdagingen wordt dieper ingegaan in deze sectie.

- Spatial resolution

Spatial resolution staat voor hoe goed de sensor objecten die dicht bij elkaar staan kan onderscheiden als twee aparte objecten. Hoe hoger de spatial resolution is, hoe beter en duidelijker de sensor beelden kan vormen. Voor LiDAR technologie blijkt de spatial resolution een uitdaging te zijn, de sensor identificeert soms twee aparte objecten die dicht bij elkaar staan als één groot geheel (Liang & Wang, 2019).

- Sensor fusion and data management

Een complexe combinatie van korte en lange afstandsradars en LiDARs, samen met ultrasound en beeldcamera's zullen de oplossing vormen voor autonome voertuigen. Zij zullen allemaal op dezelfde manier moeten omgaan met fouten en meetstandaarden toepassen die complementair zijn aan elkaar om tot een veilige en betrouwbare oplossing te komen (Hecht, 2018). De hoeveelheid data die hierbij wordt verzameld zal onmiddellijk verwerkt moeten worden om gevaren onmiddellijk te detecteren en gepast te reageren op deze gevaren (Rosique et al., 2019). Er wordt verwacht dat autonome voertuigen zoveel data gaan produceren dat de bandbreedte van het netwerk dit niet zal aankunnen (Perry & Shenker, 2021).

- Bad weather conditions

De sensors en camera's geïmplementeerd in de autonome voertuigen zijn gevoelig aan slechte weersomstandigheden zoals regen, mist of sneeuw. De kwaliteit van de waarnemingen gaat dan achteruit, maar vooral de afstand die ze kunnen waarnemen verlaagt beduidend (Bijelic et al., 2018).

- Mutual interference

Stel dat autonome voertuigen in een file of andere omgeving staan met veel voertuigen op een kleine ruimte. De uitdaging zal dan zijn om de uniekheid van de uitgezonden signalen te verzekeren. Om zo geen signalen van andere auto's op te vangen en een verkeerd beeld te krijgen (Kim et al., 2017).

2.2.3.2 Veiligheid

Koopman (2018) bespreekt het aandeel van menselijke fouten bij ongevallen, zoals rijden onder invloed of het overtreden van verkeersregels. Deze twee zaken alleen al zouden in ongeveer 50% van de gevallen de oorzaak zijn van een ongeval. In totaal zou zelfs 94% van alle ongevallen veroorzaakt worden door menselijke fouten (Wang et al., 2020). De ongevallen veroorzaakt door rijden onder invloed of het overtreden van verkeersregels kunnen volledig vermeden worden als menselijke chauffeurs gewoon vervangen worden door autonome voertuigen. Om de overige 44%, die veroorzaakt wordt door uiteenlopende zaken zoals bijvoorbeeld te dicht op de voorganger volgen voor bepaalde weercondities, gevaarlijk inhalen, onoplettend draaien of in het algemeen agressief rijgedrag, te kunnen vermijden zullen autonome voertuigen onderling en met de infrastructuur geconnecteerd moeten worden. Zolang deze connectiviteit er niet is, zullen autonome voertuigen niet kunnen anticiperen op onverwachte acties of intenties van andere voertuigen of infrastructuur en zullen deze ongevallen blijven voorvallen (Shetty et al., 2021).

2.2.3.3 Wettelijke beperkingen

In de Europese Unie is er op 6 juli 2022 wel een akkoord uitgebracht over de nieuwe regels betreffende de ontwikkelingen van autonome voertuigen en de veiligheid ervan. Gebaseerd op deze *General Safety Regulation* heeft de Europese Unie enkele technische regels uitgebracht waar autonome voertuigen aan moeten voldoen. Deze regels zijn afgestemd met de regels van de Verenigde Naties en focussen vooral op voertuigen van level 3, voor het vormen van een nieuwe regelgeving rond autonome voertuigen van level 4 zijn er ook reeds afspraken en verdere plannen gemaakt. Deze regelgevingen zorgen voor onvermijdbare procedures in verband met testen, cybersecurity, data verzameling en het monitoren van veiligheid. Op deze manier moeten voertuigen dus eerst bewijzen dat ze veilig en technologisch sterk genoeg zijn voor ze op de markt worden gebracht (Europese Commissie, 2022).

Deze maatregelen moeten in het algemeen de weg vrijmaken voor autonome voertuigen, maar de extra eisen die gesteld worden waar de voertuigen aan moeten voldoen kunnen ook beperkend werken in de snelheid van ontwikkelingen.

In 2022 hadden 29 staten in de Verenigde Staten een goedgekeurde wetgeving rond autonome voertuigen voorzien (Korkmaz & Koo, 2022). In de Verenigde Staten is er momenteel niet één overkoepelende wetgeving voor autonome voertuigen en alles wat hierbij komt kijken, maar meerdere wetgevingen die van elkaar kunnen verschillen per staat. Om toch een soort van gemeenschappelijke houvast te creëren heeft de NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) wel een soort van leidraad opgesteld voor het veilig testen, ontwikkelen en uitrollen van autonome voertuigen (Jones, 2020). Al blijft de rol van de NHTSA te beperkt en worden de voertuigen pas gecontroleerd nadat ze al zijn uitgebracht om de zogenaamde grote tech bedrijven niet te vertragen in hun ontwikkelingen (Yacoub, 2022). Pas als deze bedrijven verder staan met hun technologische ontwikkelingen wil de Verenigde Staten overgaan naar een federale wetgeving (Jones, 2020).

2.2.3.4 Gebrek aan regelgeving rond aansprakelijkheid en bescherming gegevens

In 2.2.2.3 worden de wettelijke bepalingen rond de ontwikkelingen en veiligheid van autonome voertuigen besproken en hoe deze ook een rem zouden kunnen zetten op verdere ontwikkelingen, maar wat als autonome voertuigen overnemen en betrokken zijn in een ongeval. Volgens Bruin (2022) gaat toenemende autonomie in voertuigen hand in hand met toenemende onzekerheid van het kunnen vaststellen van de oorzaak in geval van een ongeval. In tegenstelling tot sectie 2.2.2.3 is in dit geval net het gebrek aan regelgeving dat verdere ontwikkelingen van autonome voertuigen kan belemmeren (Bruin, 2022). Het is voor slachtoffers van ongelukken betreffende autonome voertuigen problematisch om de aansprakelijkheid van innovators aan te duiden en deze onzekerheid heeft een belangrijke invloed op de innovatie-acceptatie van autonome voertuigen door consumenten. Voor de bedrijven die bezig zijn met innovaties is die acceptatie van consumenten wel noodzakelijk voor succes. Rechtszekerheid is een belangrijke factor als het aankomt op autonome voertuigen, als alle verantwoordelijkheid standaard bij de producenten wordt gelegd trekken zij wel een groot deel extra aansprakelijkheid naar zich toe, maar zorgt dit ook voor hen voor rechtszekerheid en weten ze waar ze aan toe zijn.

Ook inzake alle data en persoonsgegevens die worden verzameld door autonome voertuigen dienen er duidelijkere regels te komen. Momenteel bestaat hier wel al een regelgeving rond, de Algemene verordening gegevensbescherming (AGV) is een Europese verordening die de regels rond persoonsgegevens in de hele Europese Unie standaardiseert. Maar Bruin (2022) stelt dat in deze regelgeving vele open en vage normen staan waardoor het voor de producenten van autonome voertuigen vaak nog steeds niet duidelijk is aan welke concrete zaken ze nu moeten voldoen. Ook dit zorgt voor onzekerheid bij consumenten, zij kunnen hierdoor er niet op vertrouwen dat hun privacy wordt gewaarborgd door de producenten. In Amerika worden ook de regels betreffende persoonsgegevens per staat opgesteld. In de staat Californië, de koploper in Amerika als het gaat over autonome voertuigen, hebben ze hun versie van de AGV namelijk de California Consumer Privacy Act (CCPA). De CCPA stelt wel minder strenge normen ten opzichte van de producenten, bevat lagere boetes als de regels worden overtreden en daarboven staan er in de CCPA uitzonderingen waarvoor deze regels niet gelden zoals bijvoorbeeld voor medische gegevens. De consumenten hebben in Californië dus nog minder zekerheid als het aankomt op hun privacy van gegevens.

Net als in 2.2.2.3 zal de overheid hier een belangrijke rol in moeten spelen (Li et al., 2022).

2.2.3.5 Autonome voertuigen en ethische dilemma's

Er zijn twee ethische dilemma's waar autonome voertuigen mee geconfronteerd worden. Het eerste is het trolley probleem, waarbij het autonome voertuig moet kiezen tegen welk object het zal crashen of naar welke kant het voertuig zal uitwijken als er zowel links als rechts mensen staan. Het tweede is het tunnel probleem, dat zich focust op de keuze om de passagiers in het autonome voertuig te beschermen of de mensen erbuiten (He, 2017). Deze uitdagingen moeten beantwoord worden voor autonome voertuigen volledig gecommmercialiseerd worden en autonome voertuigen effectief deze ethische beslissingen moeten maken. Een oplossing kan zijn dat autonome voertuigen de besturing gaan overdragen aan de chauffeur als het detecteert dat er een hoge kans is op een crash. Al holt dit de definitie van autonome voertuigen weer uit, zeker als er naar hogere levels van automatisatie wordt gestreefd. Een andere oplossing is autonome voertuigen zo te ontwikkelen dat het doel van 0 crashes wordt gehaald. Sommige technische optimisten denken dat dit ooit kan, maar er kunnen steeds onverwachte zaken gebeuren dus dit lijkt vrijwel onmogelijk te realiseren (Li et al., 2022).

2.2.3.6 Autonome en niet autonome voertuigen

Zoals reeds vermeld in sectie 1.1 valt het niet te voorspellen hoe snel de penetratie van autonome voertuigen zal zijn in de markt. Hoe dan ook zullen autonome voertuigen de markt niet meteen volledig overnemen en gaat er zich een situatie voordoen met zowel autonome als niet-autonome voertuigen (Litman, 2017). Bij een lage marktpenetratie van autonome voertuigen is het moeilijk voor autonome voertuigen om coöperatief te werken en bovendien kunnen niet-autonome voertuigen de connectie tussen autonome voertuigen bemoeilijken (Rad et al., 2020).

Als oplossing voor deze uitdagingen tussen autonome en niet autonome voertuigen is er vooral belangstelling voor exclusieve rijvakken voor autonome voertuigen (Kockelman et al., 2016). Exclusieve

rijvakken kunnen de voordelen van autonome voertuigen versterken. Doordat geconnecteerde voertuigen zo niet verstoord kunnen worden, kunnen deze namelijk sneller en dichter bij elkaar rijden (Madadi et al., 2020). De exclusieve rijvakken kunnen ofwel extra aangelegd worden ofwel kunnen bestaande rijvakken exclusief verklaard worden. De eerste optie is een dure optie en bovendien niet altijd mogelijk in de meer stedelijke gebieden. De tweede optie zal minder impact hebben op de infrastructuur, maar kan dan weer congestie veroorzaken en de positieve invloed op de doorloop van het verkeer tenietdoen (Talebpour et al., 2017).

2.2.3.7 Kosten van autonome voertuigen

Het ontwikkelen van de verschillende technologieën waarop autonome voertuigen zich moeten baseren is een dure kwestie, waardoor de aankoop en gebruik ervan ook veel geld kost. Doorheen de jaren wordt er wel verwacht dat de kosten van deze technologieën zullen dalen en zo ook de prijs van autonome voertuigen. In de beginjaren van de autonome voertuigen zal de hoge kost wel sowieso een uitdaging blijven voor de adoptie van autonome voertuigen (Othman, 2021). De lagere operatiekosten die autonome voertuigen met zich meebrengen, doordat bedrijven bijvoorbeeld al geen chauffeurs meer zouden moeten betalen en door het feit dat autonome voertuigen eigenlijk non-stop ingezet kunnen worden kunnen wel een heel deel van de hoge initiële aankoopkost compenseren (Nunes & Hernandez, 2019).

2.3 Hoe kunnen autonome voertuigen een antwoord bieden aan problemen in de logistiek?

De uitdagingen binnen het wegtransport en de logistiek in het algemeen werden besproken in 2.1. In sectie 2.2 werd gekeken naar de evolutie die autonome voertuigen hebben doorgemaakt en op welke uitdagingen ze momenteel nog geen optimaal antwoord kunnen bieden. In dit deel wordt besproken hoe de mogelijkheden en voordelen die autonome voertuigen met zich meebrengen een invloed kunnen hebben op de uitdagingen in de logistiek.

2.3.1 Klimaat

Autonome voertuigen kunnen een positieve invloed hebben op het klimaat. Ze zouden minder CO₂ uitstoten en minder natuurlijke grondstoffen verbruiken (Ranieri, 2018). Bovendien is het voor autonome voertuigen interessant om voor elektrisch te kiezen. De meer geavanceerde sensoren en hardware op autonome voertuigen zullen veel elektrisch vermogen vragen en een volledig elektrische batterij zal hiervoor een stabielere bron zijn. Daarbij komt nog dat elektrische autonome voertuigen sneller kunnen reageren op situaties dan autonome voertuigen met verbrandingsmotoren (General Motors). Deze extra stijging van de elektrische voertuigen die hiermee gepaard zou gaan, zou weer voor een verlaging van de CO₂-uitstoot zorgen (IEA, 2019) en brengt de wereld weer dichterbij het halen van de klimaatdoelstellingen besproken in sectie 2.1.1.

2.3.2 Chauffeurs

De logistieke operaties van bedrijven kunnen in de problemen komen door de tekorten aan chauffeurs die er momenteel zijn in de logistieke sector (Chandiran et al., 2023). Autonome voertuigen die vallen onder level 5 in de onderverdeling van autonome voertuigen kunnen hier een antwoord op bieden. Vanaf

level 5 is de chauffeur overbodig. Vanaf dan kan het voertuig zelf rijden, reageren op de omgeving rondom en zelf omgaan met falen van het systeem.

Voor logistieke bedrijven zou dit een antwoord kunnen bieden op een van hun meest prangende problemen. Zoals besproken in 2.1.2 zou het geen evidentie zijn om het beroep aantrekkelijker te maken en te beantwoorden aan de sociale factoren zoals de slechte werkomstandigheden en veel en lange dagen van huis zijn. De logistieke wereld verwacht nu eenmaal flexibiliteit. De autonome voertuigen zijn ook niet beperkt in het aantal werkuren per dag, ze kunnen 24/7 rijden (Engesser et al., 2023). Hierdoor zullen de logistieke bedrijven plots veel meer middelen hebben wat betreft hun transportmogelijkheden. Bovendien liggen de winstmarges in de logistieke sector aan de lage kant, waardoor bedrijven focussen op de arbeidskosten (de Haan et al., 2012).

2.3.3 Last mile deliveries

Verstedelijking zorgt voor een extra nood aan mobiliteit en transportmogelijkheden (Engesser et al., 2023). De voordelen van last mile deliveries met autonome voertuigen gaat vooral liggen in de nadelen van de traditionele manier (Li et al., 2020). Er is een sterke overtuiging dat autonome voertuigen de last mile deliveries kunnen beïnvloeden op een duurzame manier die de klant centraal stelt (Marsden et al., 2018). Momenteel worden er verschillende opties onderzocht om het best antwoord te bieden op de uitdagingen van last mile deliveries.

2.3.3.1 Autonome bezorgrobots

De robots kunnen verder worden onderverdeeld in robots die op de stoep of het fietspad rijden en robots die zich mee integreren met het wegverkeer.

Een voorbeeld van een robot die zich enkel via de stoep en wandel- en fietspaden zal verplaatsen is Nono, een bezorgrobot ontwikkeld door DELIVERS.AI die momenteel door Carrefour wordt getest. De testen met Nono vinden plaats in een corporate village in Zaventem, waar Nono over een oppervlakte van 60 000m² aan bepaalde testers boodschappen zal afleveren. Nono is uitgerust met 8 camera's en sensoren die vooraf het bewegingsgebied in kaart hebben gebracht. Hierdoor kan Nono veilig navigeren en obstakels vermijden. Bovendien zullen de boodschappen niet alleen veilig aan huis gebracht kunnen worden. Een positieve impact op het klimaat is er ook, de CO₂-uitstoot van deze 100% autonome robot zal namelijk nul zijn (Carrefour, 2023).



Foto 2: Nono, de volledig autonome bezorgrobot die boodschappen aan huis levert zonder zich op de openbare weg te begeven (Foto van Delivers.ai, 2023)

Een bezorgrobot die zich wel over de openbare wegen zal verplaatsen is de Clevon 1. Clevon 1 is de eerste robot die autonoom bezorgingsdiensten test op openbare wegen, met één van hun test projecten bij Collect & Go in Londerzeel, België (Business Wire, 2022). Hier legt de robot een vaste route af van het distributiecenter naar het Collect & Go afhaalpunt en terug. Er werden enkele testpersonen gezocht die op deze route wonen en die hun bestelling via Collect & Go aan huis wilden laten leveren. De testpersonen kregen een code waarmee ze hun compartiment in de Clevon konden openen en hun bestelde producten aannemen (Colruytgroup, 2023).



Foto 3: Een thuislevering van de Clevon 1, de volledig autonome bezorgrobot die zich via openbare wegen verplaatst om boodschappen aan huis te leveren (Foto van Colruytgroup.com, 2023)

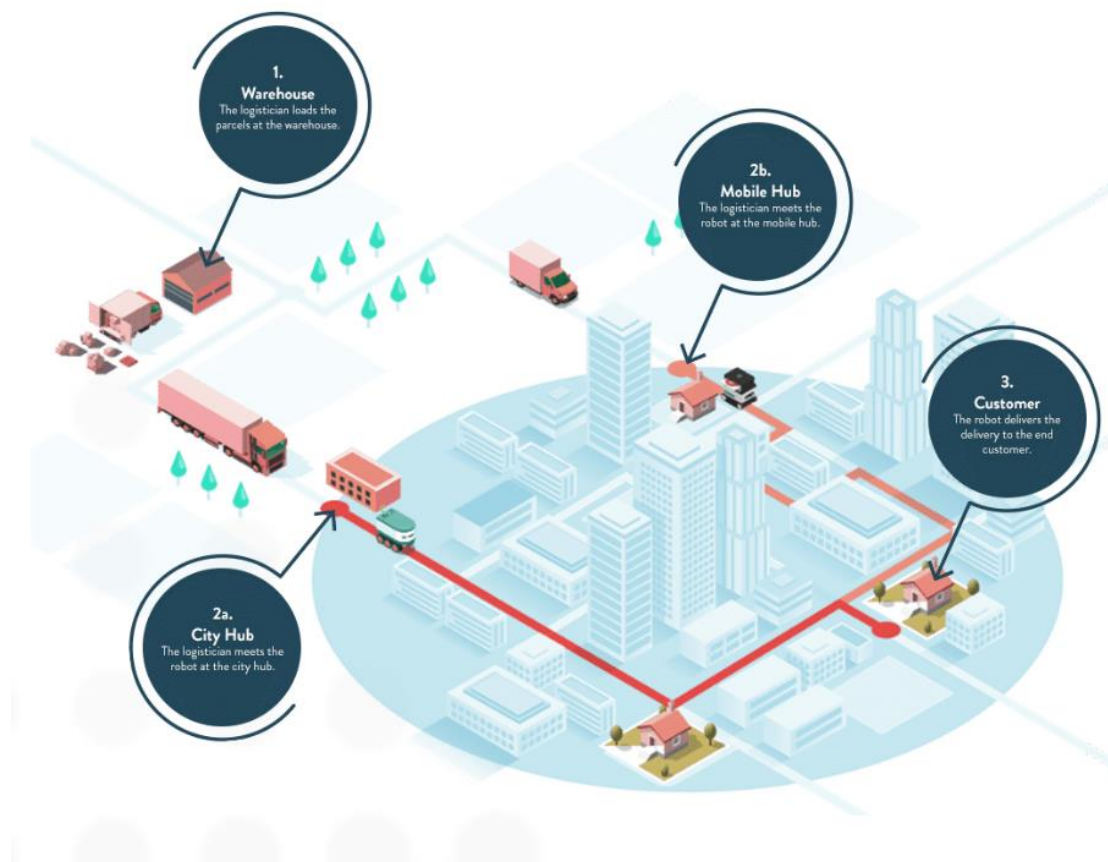
2.3.3.2 Autonome drones

Het gebruik van autonome drones wordt als een van de meest veelbelovende manieren gezien om in te staan voor last mile deliveries van pakketjes in stedelijke gebieden. Onderzoek heeft uitgewezen dat leveringen met drones de kosten en tijd van last mile deliveries kan verminderen. De leveringen zijn autonoom omdat drones door middel van *artificial intelligence* geen piloot meer nodig hebben om te vliegen en beslissingen te maken (Mehndiratta & Kayacan, 2019) en de traditionele drukke wegennetwerken worden vermeden, waardoor ze ook sneller zijn en er minder verkeer is op de wegen (Dorling et al., 2016; Macrina et al., 2020). Ook op vlak van klimaat kunnen drones interessant zijn. Drones zijn steeds elektrisch waardoor ze geen CO₂ uitstoten (Borghetti et al., 2022). Het feit dat drones altijd elektrisch zijn, kan ook een uitdaging worden. De batterij moet steeds opgeladen of gewisseld worden in de hubs vanwaar de drones vertrekken. Een andere uitdaging is het gewicht van de pakketjes die drones kunnen leveren. Drones zijn niet in staat om zware en grote pakketjes te leveren, waardoor bepaalde leveringen nog steeds via andere modi uitgevoerd moeten worden (Macrina et al., 2020). Een derde uitdaging die vaak terugkomt bij drones is de wetgeving rond privacy. Voordat drones commercieel kunnen worden ingezet moeten hier afspraken rond gemaakt worden (Khan et al., 2018). Drones kunnen namelijk persoonlijke informatie verzamelen tijdens het leveren van pakketjes zonder de goedkeuring van de personen. De drones kunnen via hun camera's door over huizen en tuinen te vliegen informatie verzamelen over verschillende zaken, zoals hoeveel personen er wonen, sociale

activiteiten of informatie over wat de bewoners van een bepaald adres al hebben gekocht en wat hun interesses zijn (Xie et al., 2022). Sinds 26 januari 2023 zijn er regels van de Europese Commissie van toepassing om de privacy van mensen te bewaren en tegelijk toch het gebruik van drones te bevorderen. De toepassing die in het leven werd geroepen is de *U-space*, een toegewijde ruimte in de lucht die gereserveerd is voor het gebruik van drones. Een van de volgende stappen is dat alle lidstaten van de Europese Unie hun U-space en de bedrijven die hier gebruik van mogen maken gaan definiëren (Europese Commissie, 2023).

2.3.3.3 Tweeledig systeem voor last mile deliveries

Een tweeledig systeem voor leveringen in stedelijke gebieden is zoals in figuur 18 te zien, letterlijk een systeem bestaande uit twee stappen. In dit onderzoek wordt er gekeken naar een tweeledig systeem waarbij de last mile deliveries worden uitgevoerd door autonome bezorgrobots en de voordelen die dit soort leveringen kunnen opleveren, maar dit tweeledig systeem wordt momenteel al gebruikt waarbij de last mile deliveries worden uitgevoerd door fietskoeriers. Deze tweeledige manier brengt niet alleen bepaalde voordelen met zich mee, maar wordt ook steeds vaker noodzakelijk voor bedrijven. Er is steeds meer verstedelijking en deze steden grijpen als maar vaker naar maatregelen om het verkeer te matigen, maatregelen zoals bijvoorbeeld lage emissie zones of soms zelfs een verbod voor vrachtwagens in de stad zorgen ervoor dat bedrijven naar oplossingen moeten zoeken (Gester & Bogdanski, 2017).



Figuur 18: Voorbeeld van tweeledig systeem in een stedelijk gebied (Figuur van Imad.eu, 2023)

In figuur 18 wordt er gebruik gemaakt van zowel City Hubs als Mobile Hubs die zich op verschillende plaatsen in de stad bevinden. Niet-autonome vrachtwagens gaan de goederen die geleverd moeten worden ophalen in het warehouse dat gelegen is buiten het stedelijke gebied. Deze vrachtwagens gaan dan met de goederen die ze hebben afgehaald uit het warehouse de hubs beleveren aan de rand van het stedelijk gebied. In figuur 18 zijn er twee soorten hubs, de levering van de vrachtwagen kan zowel aan een vaste city hub zijn als aan een mobiele hub die tactisch verplaatst kan worden in functie van de leveradressen van de eindconsumenten. Vanuit deze hubs wordt dan de last mile delivery uitgevoerd door autonome bezorgrobots (Poeting et al., 2019). Op deze manier worden de voordelen van autonome voertuigen gekoppeld aan de voordelen van het gebruik van hubs. Door gebruik te maken van hubs kunnen pakketjes geconsolideerd worden en kan de hoeveelheid kilometers en hierdoor ook de hoeveelheid CO₂-uitstoot verminderen (European Environment Agency, 2019), deze verlaging van de CO₂-uitstoot zal nog extra versterkt worden door de autonome bezorgrobots zoals besproken in 2.2.3.1 (Verlinde et al., 2014; Figliozzi, 2020).

Het nadeel van de autonome bezorgrobots is dat ze nog geen al te verre afstanden kunnen afleggen of grote hoeveelheden tegelijk vervoeren (Giacomo et al., 2020). Daarom worden in dit model uit figuur 18 de hubs aan de stadsrand nog aangevuld door trucks. Zo worden de nog zwakke punten van de bezorgrobots opgevangen en kunnen de vrachtwagens de langere afstanden met veel goederen tegelijk afleggen. Als autonome voertuigen zich verder gaan ontwikkelen kunnen de vrachtwagens ook vervangen worden door autonome vrachtwagens om zo de leveringen volledig autonoom te laten verlopen.

Autonome drones en bezorgrobots, besproken in sectie 2.3.3.1 en 2.3.3.2 hebben wel het potentieel om het gebruik van de hubs overbodig maken. In 2017 testte UPS al een systeem waarbij vrachtwagens en drones samen werken voor het leveren van pakketjes. Zo kunnen de drones en bezorgrobots de pakketjes in de drukkere en moeilijker te bereiken delen leveren en de vrachtwagens tegelijkertijd de grotere en zwaardere pakketten afleveren. Zo vullen de vrachtwagen en de autonome drones en robots elkaars zwakke punten aan in een gesynchroniseerd *truck-and-drone* model, waarbij de vrachtwagen als een soort bewegende hub voor de drones zou acteren en zo de afstand waarover drones en bezorgrobots kunnen leveren ook kan verhogen (Moshref-Javadi et al., 2021; Wang et al., 2022). Voorlopig wordt er enkel nog maar getest en is deze manier van last mile deliveries nog niet operationeel.

2.3.4 Congestie

Om verder te gaan op het vermijden van trucks en bestelwagens in de stadskern, zoals besproken in sectie 2.3.3.3 zal het verlaagde aantal voertuigen dat goederen moet leveren in de stadskern ook een invloed hebben op de congestie. Door de tweeledige methode besproken in sectie 2.3.3.3 worden de voordelen van beide transportmodi gecombineerd. Het is voordelig om grote trucks via deze methode uit de stadskern te houden. Deze trucks of bestelwagens ondervinden namelijk vaak

parkeermoeilijkheden in drukke gebieden, waardoor ze het verkeer ophouden en voor congestie zorgen bij het inparkeren of als ze in het midden van de weg even stoppen en hun vier richtingaanwijzers opzetten voor een levering (Giacomo et al., 2020). De bezorgrobots uit sectie 2.3.3.1 bieden hier een oplossing voor.

Het vervangen van gewone voertuigen door autonome voertuigen zal weinig tot geen effect hebben op de congestie (Areej et al., 2022). Autonome voertuigen die instaan voor personenvervoer kunnen ook nieuwe mogelijkheden bieden aan privé-eigenaars. Dit vooral aan personen die niet zelf kunnen rijden zonder een autonoom voertuig, zoals bijvoorbeeld kinderen, ouderen of mensen met een handicap, waardoor de congestie zelfs kan verergeren door de toepassing van autonome voertuigen (Harper et al., 2016).

Het delen van die autonome personenvoertuigen zal de belangrijkste factor zijn om de congestie te verlagen. Door de autonome voertuigen te delen zullen voertuigen efficiënter gebruikt worden. Een efficiënter gebruik van voertuigen betekent dat er minder voertuigen nodig zijn en dit zal een positieve invloed hebben op de congestie (Metz, 2018). Het zal op zijn beurt wel weer zorgen voor een lagere gebruikskost, aangezien deze ook gedeeld kunnen worden. Mensen die nu het openbaar vervoer gebruiken zullen de overstap maken naar autonome voertuigen (Metz, 2018). Toch is delen van autonome voertuigen de oplossing om het congestieprobleem aan te pakken en zo ook de autonome goederenvoertuigen veel vlotter laten leveren.

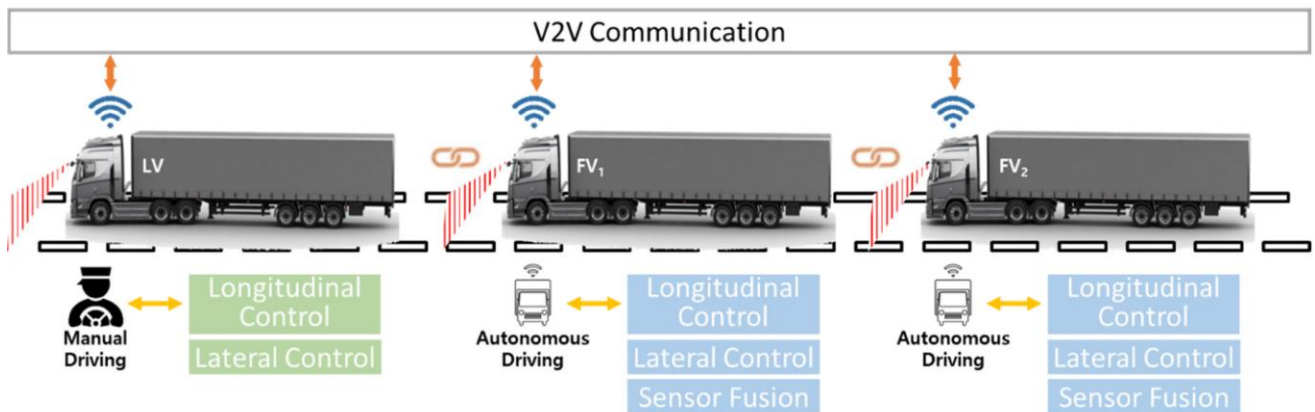
2.3.5 Veiligheid

Volgens Wang et al. (2020) zijn 94% van de ongevallen op de openbare weg veroorzaakt door menselijke fouten. Autonome voertuigen hebben dus potentieel om de veiligheid in zowel goederen- als personenvervoer te verhogen (Szücs & Hézer, 2022). Door middel van autonome voertuigen van een hoger level te ontwikkelen kunnen die menselijke fouten vermeden worden (Nair & Bhat, 2021). Radicale verbeteringen van de veiligheid kunnen wel pas gerealiseerd worden als er autonome voertuigen van level 4 beschikbaar zijn en de menselijke factoren substantieel of zelfs volledig geëlimineerd worden (Michalowska & Oglozinski, 2017). Hiervoor zal de connectiviteit tussen voertuigen onderling en met de infrastructuur besproken in sectie 2.2.3.2 noodzakelijk zijn.

2.3.6 Platooning

Platooning wordt hier apart besproken omdat dit een toepassing is van autonome voertuigen van level 2 die invloed kan hebben op meerdere uitdagingen waar het wegtransport mee te maken heeft. Het concept is vooral nuttig voor goederentransport aangezien de voertuigen dezelfde route moeten afleggen, wat vooral interessant is voor goederentransport. Het concept *platooning* werd in sectie 2.2.1 al uitgelegd bij de eerste test ervan in 2011, maar het is een toepassing die aandacht is blijven krijgen. Zeker als voertuigen met elkaar en de infrastructuur geconnecteerd zijn kan *platooning* meerdere voordelen hebben. De voertuigen die in een konvooi zullen rijden kunnen dan dichter bij elkaar rijden, waardoor er minder luchtweerstand is voor de voertuigen en het verbruik zal dalen met een positieve invloed op het klimaat als gevolg. Doordat de voertuigen dicht achter elkaar kunnen rijden wordt ook

de ruimte efficiënter benut, wat dan weer een positieve invloed zal hebben op de congestie. Doordat de autonome voertuigen die volgen gebruik maken van *advanced driving assistance systems (ADAS)* kan *platooning* ook een positieve invloed hebben op de veiligheid (Schirrer et al., 2022). Voorlopig moet er wel nog steeds een chauffeur in elk voertuig zitten, maar vanaf level 4 zal er in geval van *platooning* geen chauffeur meer nodig zijn in de voertuigen die het leidende voertuig met chauffeur volgen (Greer et al., 2018). Vanaf level 5 hoeft ook in het leidende voertuig geen chauffeur meer aanwezig te zijn (SAE, 2014). Vooral het feit dat bij *platooning* vanaf level 4 geen chauffeurs meer nodig zijn in de voertuigen die volgen is een groot voordeel. Normaal zijn voertuigen pas zonder chauffeur vanaf level 5 (SAE, 2014). Hierdoor kan *platooning* dus extra veel invloed hebben op het tekort aan chauffeurs in het goederentransport.



Figuur 19: De architectuur van *platooning* met autonome trucks die een manueel bestuurd truck volgen (Lee et al., 2022).

3. Empirische studie

In deze empirische studie wordt er naar een antwoord gezocht op de laatste deelvraag; "Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?". Er wordt onderzocht hoe bedrijven staan tegenover de opkomst van autonome voertuigen, wat hun verwachtingen zijn van autonome voertuigen en of er opportuniteiten mee gepaard kunnen gaan voor hun bedrijf en de sector waarin ze actief zijn. Er wordt hiervoor niet enkel gekeken naar transportbedrijven, maar ook naar retailers zoals (bijvoorbeeld Colruyt en Carrefour > TBD) die met hun leveringen via autonome bezorgrobots reeds in sectie 2.3.3.1 aan bod zijn gekomen. Om hier een actueel beeld over te krijgen wordt er voor deze sectie vooral gebruik gemaakt van opinies van experts die actief zijn in de logistieke sector. Deze opinies worden verzameld door middel van een open gesprek met de respondenten over hun verwachtingen rond autonome voertuigen. Doordat er momenteel nog weinig tot geen toepassingen zijn van autonoom goederentransport wordt het empirisch onderzoek aangevuld met informatie terug te vinden in openbare rapporten. Door de empirische bevindingen aan te vullen met deze openbare rapporten wordt er geprobeerd een grondig en actueel beeld te vormen over de verwachtingen rond autonome voertuigen in de logistiek in de toekomst.

Eerst worden alle respondenten waarmee een gesprek is gevoerd kort voorgesteld om hun achtergrond en link met de logistieke sector te kaderen. Daarna worden hun antwoorden, samen met de bevindingen uit de openbare rapporten besproken in functie van de laatste deelvraag en worden deze ook afgetoetst aan de literatuurstudie.

3.1 Introductie respondenten

De eerste respondent is Derk van den Haak, algemeen directeur van Van den Haak b.v. Een transportbedrijf dat al meer dan 110 jaar gevestigd is in Geldermalsen, Nederland. Ze noemen zichzelf een oud bedrijf in een moderne jas en staan open voor innovatie.

De tweede respondent die werd geïnterviewd is Robin Ceunen, momenteel actief als supply chain innovation expert bij H.Essers. Hij is een expert die constant bezig is met mogelijke innovaties te onderzoeken binnen de logistieke ketens en ze ook te implementeren eens ze zijn goedgekeurd.

Wouter Claessen is de derde respondent die is geïnterviewd. Hij is net als Robin Ceunen actief bij H.Essers, maar als Project Manager Fleet. Hij houdt zich dus full time bezig met vernieuwingen en onderhandelingen betreffende het volledige wagenpark van H.Essers en staat dus mee aan de basis van eventuele innovaties.

Een volgende respondent is Raf Poets, Director Strategy Development bij Scania Parts Logistics. Raf onderzoekt welke strategische beslissingen Scania kan maken om competitief te blijven. Hij zet dus mee de lijnen uit waar Scania in wil investeren in de toekomst.

De laatste respondent die werd geïnterviewd was Dirk Fritsch. Dirk is Managing Director bij Scania Parts Logistics en hij is verantwoordelijk voor de vestiging in Oudsbergen. Hij staat ook mee aan de

basis van innovaties over heel Scania, ook aan die van de investeringen in autonome voertuigen die Scania reeds gebruikt op afgelegen mijnsites.

3.2 Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?

3.2.1 Toetsing aan de literatuur

3.2.1.1 Chauffeurs

De respondenten die actief zijn in de transportfirma's zoals H.Essers en Van den Haak b.v. halen allemaal het tekort aan chauffeurs aan. Bij beide bedrijven hebben ze steeds openstaande vacatures die maar moeizaam opgevuld raken. Ook de respondenten van Scania zien een zorgwekkende evolutie in de hoeveelheid chauffeurs van hun transporteurs. Alles respondenten zijn het erover eens dat de introductie van autonome voertuigen hier een groot voordeel kan opleveren. Zo stelt Robin Ceunen dat het niet alleen een kostenbesparing aan lonen met zich zou meebrengen, maar ook dat ze geen volumes moeten uitbesteden door het gebrek aan eigen chauffeurs en dat kan op die manier de opbrengst verhogen.

Derk van den Haak benadrukt wel dat zijn voertuigen tijdens leveringen af en toe te maken krijgen met pech. Hij vindt het dan een niet te onderschatten voordeel om onmiddellijk een chauffeur ter plaatse te hebben die vaak door eerdere ervaringen of een trucje het probleem al kan oplossen, al is het maar een tijdelijke oplossing om de huidige rit te kunnen verderzetten. Derk verwacht dat het belangrijk zal zijn dat er dan een soort van dienst komt die snel bijstand kan leveren bij pech van autonome voertuigen.

3.2.1.2 Wetgeving

Wetgeving wordt door elke respondent aangehaald als de grootste belemmering voor autonome voertuigen vandaag. Ze stellen allemaal dat wetgeving het momenteel niet toelaat om autonome voertuigen te implementeren op openbare wegen en dat er geen duidelijkheid is over het gebruik van autonome voertuigen voor goederentransport. Volgens Wouter Claessen zal het ook heel belangrijk zijn voor H.Essers dat er een wetgeving op Europees niveau wordt opgemaakt, H.Essers is zoals zo veel transportbedrijven niet enkel binnen één land actief, waardoor het belangrijk is dat transportbedrijven niet steeds rekening moeten houden met wetgevingen per land dat ze doorkruisen. Dirk Fritsch hoopt zelfs op een globale wetgeving omdat Scania toch wereldwijd actief is. Verschillen per land of regio zou een groot nadeel betekenen voor alle respondenten en de bedrijven waar ze voor werken.

De *Strategic Transport Research and Innovation Agenda* (STRIA), een instantie van de Europese Commissie, heeft in december 2020 een roadmap uitgebracht over de toekomst van autonome voertuigen. Hierin bespreken ze de doelen die ze voor ogen hebben wat betreft autonome voertuigen en ook de voordelen die ze ervan verwachten. Maar ook in deze roadmap wordt vastgesteld dat er nog uitdagingen zijn als het aankomt op wetgeving voordat er een brede uitrol kan zijn van autonoom transport. Dit indiceert wel dat er op Europees niveau aandacht wordt besteed aan die wetgeving rond autonome voertuigen. Het blijkt gewoon een zeer complexe kwestie om alle zaken uit te klaren en ook de ethische vraagstukken spelen hun rol. Ook Wouter stel zich vragen bij deze ethische kwesties die

uitgeklard moeten worden in de wetgeving: "Als een autonome vrachtwagen moet uitwijken en links een oud vrouwtje of rechts een jongen van 8 moet aanrijden, wat gaat het voertuig dan doen?"

Robin Ceunen benadrukt de impact van het gebrek aan wetgeving nog extra. Hij stelt dat er momenteel al efficiënt gebruik gemaakt wordt van autonome voertuigen binnen afgebakende zones op privéterrein, op zones waar wetgeving niet van belang is en waar het bedrijf zelf de regels kan opstellen. Volgens hem is dit het perfecte voorbeeld dat er echt al wel meer mogelijk is en dat toepassingen voor goederenvervoer op de openbare weg al zouden kunnen als de problemen rond wetgeving er niet zouden zijn.

3.2.1.3 Congestie

De respondenten verwachten dat autonome voertuigen een positieve invloed kunnen hebben op congestie. Doordat je autonome voertuigen altijd kan inzetten verwachten ze dat je de ritten makkelijker op voorhand al volledig kan managen. Chauffeurs willen vaak zo min mogelijk stoppen en zo snel mogelijk aankomen op hun bestemming, maar met autonome voertuigen kunnen piekuren vermeden worden en kan het goederenvervoer beter gespreid worden doorheen de dag en nacht. Het uur waarop iets afgeleverd moet zijn bij de klant moet uiteraard gerespecteerd worden, maar het geeft een veel ruimer *window* aan transportbedrijven om die deadline te halen.

Enkel Robin Ceunen stelt zich vragen bij de oplossing van congestie door autonome voertuigen. Hij ziet net als de andere respondenten ook wel de voordelen, maar heeft wel zijn bedenkingen bij de uiteindelijke invloed van autonome voertuigen op congestie. Hij verwacht meer verkeer doordat er ook autonome personenwagens beschikbaar zullen zijn die meer mensen de mogelijkheid gaan geven om zich met de auto te verplaatsen die dat zonder autonome voertuigen niet zouden kunnen.

3.2.1.4 Last mile deliveries

Van den Haak b.v. doet ook last mile deliveries, maar voor deze business verwacht Derk minder opportuniteiten voor zijn bedrijf. Van den Haak b.v. levert vooral grote en zware stukken en hij verwacht dat dit heel moeilijk gaat zijn om autonoom te laten leveren. De opportuniteiten van autonome voertuigen in last mile deliveries liggen volgens de respondenten vooral bij het leveren van kleinere pakketjes die niet noodzakelijk aan huis, maar ergens op een centrale plaats worden geleverd. Als ze ook voor grotere leveringen zoals bijvoorbeeld een pallet of dergelijke met autonome voertuigen willen leveren, verwachten de respondenten dat de klanten ook een soort van vaste locatie moeten hebben. Nu wordt er vaak bij leveringen aan particulieren of op een werf bijvoorbeeld gevraagd om de geleverde goederen, afhankelijk van wat het is, op een bepaalde plaats te zetten. Bij autonome leveringen wordt verwacht dat er een vaste plaats moet worden afgesproken of de klant moet de goederen zelf lossen wat het misschien wel iets minder aantrekkelijk kan maken voor klanten. Raf Poets en Dirk Fritsch zien in het algemeen weinig opportuniteiten voor last mile deliveries via autonome voertuigen, enkel voor transporten van hub naar hub. Volgens hen heeft elke soort levering zijn eigen toepassingen en is het moeilijk om een standaard te bepalen, terwijl hubs allemaal voorzien zijn op grote leveringen via grotere voertuigen.

Robin Ceunen verwacht nog een extra uitdaging als de leveringen in meer stedelijke gebieden zijn en het voertuig enkel op de straat kan parkeren. Dan stelt hij zich wel de vraag of dit geen negatieve impact gaat hebben op de congestie die zonet al werd besproken in sectie 3.2.3. Stel dat de klant zelf de goederen uit de vrachtwagen moet komen lossen en dit veel langer duurt dan als de chauffeur dit meteen kan doen. Om zulke situaties te vermijden zou er dan een tijdslot bepaald moeten worden waarbinnen de klant de goederen moet komen oppikken aan het voertuig en indien dit niet lukt een surplus wordt gevraagd op de oorspronkelijke kost.

Alle respondenten zijn het erover eens dat dit vooral voor kleinere pakketjes een groot voordeel kan zijn die via de kleinere delivery robots, besproken in sectie 2.3.3.1, geleverd kunnen worden. Al hebben ze hier ook bedenkingen bij omdat meerdere respondenten al artikels hebben gelezen over mensen die delivery robots zouden omverduwen en vernielen. Bovendien wordt er ook nog de bedenking gemaakt rond veiligheid als er duurdere voorwerpen worden geleverd met die autonome bezorgrobots.

3.2.1.5 Veiligheid

De respondenten zijn het erover eens dat autonome voertuigen zullen zorgen voor veiligere wegen. Volgens hen zijn de voorbeelden op privéterreinen en bij toepassingen in warehouses het bewijs dat autonome voertuigen de veiligheid kunnen bevorderen. Dirk Fritsch heeft met Scania een toepassing waar autonome vrachtwagens worden gebruikt op afgelegen mijnsites. Ze zien hier in de praktijk dat de veiligheid is verhoogd in vergelijking met toen ze gewone vrachtwagens inzette. Ook bij H.Essers zijn er positieve ervaringen naar veiligheid toe, de implementatie van autonome heftrucks hebben daar gezorgd voor een positieve evolutie op vlak van veiligheid in de warehouses.

De respondenten zijn het erover eens dat de situatie op de openbare weg anders zal zijn en dat er zich vaker onvoorziene situaties zullen voordoen, maar zijn er wel van overtuigd dat autonome voertuigen ook op de openbare weg een positieve invloed kunnen hebben. Het belang van connectiviteit tussen autonome voertuigen onderling en infrastructuur wordt ook hier aangehaald als voorwaarde om de veiligheid te verhogen. De nieuwe vrachtwagens die nu op de openbare weg worden ingezet van Scania zijn al allemaal verbonden met eenzelfde datacenter, met de bedoeling om de voertuigen op termijn ook met elkaar te verbinden.

3.2.2 Bijkomende verwachtingen

3.2.2.1 Infrastructuur

Over de infrastructuur die momenteel voor handen is stellen de respondenten zich nog veel vragen. Ze verwachten allemaal dat autonome voertuigen hand in hand zullen gaan met elektrische voertuigen en het is de infrastructuur voor die elektrische voertuigen die hen vragen doet stellen. De infrastructuur in België laat het volgens de respondenten van H.Essers en Scania momenteel nog niet toe om volledig in te zetten op elektrische voertuigen en ze vinden dat bijvoorbeeld Nederland al veel verder staat hierin. Al trekt Derk van den Haak momenteel toch dezelfde conclusie in Nederland, hij wil met zijn bedrijf zwaar investeren in elektrische voertuigen maar hij vindt dat Nederland momenteel ook nog niet ver genoeg staat als het aankomt op laadinfrastructuur hiervoor.

H.Essers en Van den Haak zijn momenteel wel de eerste stappen aan het zetten naar elektrische vrachtwagens, maar volgens hen komt die elektrificatie nu pas een beetje op gang voor goederenvervoer. Er wordt door hen ook nog een kritische bedenking over de onderhoudscontracten van het wagenpark gemaakt. Voor garages zal dit ook nieuw zijn en de kosten van batterijen en andere technologie in autonome voertuigen kan hoog oplopen. De respondenten zijn het er allemaal over eens dat er eerst nog stappen gezet moeten worden met de implementatie van elektrische voertuigen voor autonome voertuigen beschikbaar gesteld kunnen worden.

3.2.2.2 Efficiëntie van voertuigen

Dirk Fritsch haalt tot slot nog de opportuniteit van autonome voertuigen aan om de efficiëntie en utilisatie van vrachtwagens te verhogen. Door de vele verplichte rusttijden die vrachtwagenchauffeurs dienen te nemen en de verplichting voor buitenlandse chauffeurs om elke vier weken terug in eigen land te zijn worden vrachtwagens niet optimaal benut. Vrachtwagens zijn een dure investering en door al deze zaken worden ze volgens Raf Poets maar voor een kleine 30% van de tijd benut. Door autonome vrachtwagens die waarschijnlijk wel duurder gaan zijn, kan de utilisatie enorm verhoogd worden en verwachten ze bij Scania dat de investering veel sneller terug verdiend zal worden.

4. Conclusie

Globalisatie en een verhoogde competitiviteit hebben ertoe geleid dat logistiek een steeds belangrijke rol krijgt in de internationale handel. Door de toenemende e-commerce en steeds hogere verwachtingen van consumenten moeten bedrijven steeds meer orders behandelen, aan strengere levertermijnen voldoen en verwachten zowel bedrijven als particulieren deur tot deur leveringen. Door voorgaande ontwikkelingen blijft wegtransport, ondanks de opkomst van multimodaal transport, met voorsprong het populairste transportmiddel. Wegtransport is namelijk veel flexibeler in te zetten dan transport via spoor- of waterwegen en moet hoe dan ook ingezet worden voor de deur tot deur leveringen die niet meer weg te denken zijn uit onze maatschappij. Door enkel wegtransport in te zetten wordt er ook geen tijd verloren met het overladen van goederen en blijft de lead time lager. Het vele wegtransport zorgt wel voor uitdagingen in de logistiek en aangezien dit momenteel niet te vervangen is wordt er gezocht naar oplossingen binnen het wegtransport zelf.

In deze masterproef wordt er daarom onderzocht of autonome voertuigen oplossingen zouden kunnen bieden aan de hand van de centrale onderzoeksvraag: "Wat zijn de opportuniteiten van autonome voertuigen binnen het wegtransport van goederen?". Om de centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden werd het onderzoek opgedeeld in vier deelvragen. De eerste drie deelvragen werden beantwoord in de literatuurstudie, om een antwoord te krijgen op de vierde deelvraag is er gebruik gemaakt van een empirische studie.

Voordat er onderzocht kon worden wat de opportuniteiten zijn van autonome voertuigen in de toekomst moest er eerst een beeld gevormd worden van de huidige uitdagingen van het wegtransport. In deelvraag één werd dan ook een antwoord gezocht op de vraag: "Wat zijn momenteel de grootste uitdagingen voor het wegtransport?". Met als resultaat de vijf belangrijkste en meest actuele uitdagingen die werden besproken: het klimaat en de hoge CO₂-uitstoot, het grote tekort aan chauffeurs, last mile deliveries, congestie en veiligheid op onze wegen.

De tweede deelvraag zocht een antwoord op de vraag: "Hoe ver staan de ontwikkelingen van autonome voertuigen en wat zijn de grootste uitdagingen?". Er zijn zes levels van automatisatie, gaande van level nul (volledig manueel) tot level vijf (volledig autonoom) en momenteel zijn er vrachtwagens van level twee commercieel beschikbaar door de toepassing van adaptive cruise control. Voor autonome bezorgrobots zijn er wel al commerciële toepassingen van level vier automatisatie. Ze kunnen bijna volledig autonoom leveren, met enkel een persoon op afstand die kan ingrijpen bij noodsituaties. De reden waarom dat voor bezorgrobots wel al kan is omdat ze zich niet over de openbare weg verplaatsen maar via de stoep. Voor autonome vrachtwagens zijn er momenteel wel al succesvolle testen afgerond met level vier automatisatie, maar om deze toepassingen commercieel te maken zijn er nog enkele uitdagingen waar autonome voertuigen aan moeten voldoen. Een uitdaging waar zeker aan voldaan zal moeten zijn is de connectie van autonome voertuigen onderling en met de infrastructuur om de veiligheid te waarborgen en zelfs te verhogen. Maar de belangrijkste uitdaging die autonome voertuigen momenteel belemmert om deel te nemen aan het verkeer op de openbare weg is de wetgeving die het momenteel niet toelaat. Er is op dit moment binnen geen enkel geografisch gebied een duidelijk wettelijk

kader van kracht waarin is opgenomen wie wanneer verantwoordelijk is bij een ongeval, waardoor eventuele slachtoffers niet weten wie aansprakelijk te stellen. Ook rond ethische kwesties schiet de regelgeving momenteel tekort en doordat autonome voertuigen met heel erg veel data te maken zullen krijgen zal ook een duidelijke wetgeving rond persoonlijke gegevens noodzakelijk zijn. Pas als er een duidelijke regelgeving is over deze zaken die van toepassing is op grotere gebieden zoals bijvoorbeeld de Europese Unie of de volledige Verenigde Staten zullen autonome voertuigen kunnen integreren in het verkeer.

In de derde deelvraag "Hoe kunnen autonome voertuigen een antwoord bieden aan problemen in de logistiek?" wordt er in de literatuur een antwoord gezocht hoe autonome voertuigen nu een antwoord zouden kunnen bieden op de uitdagingen uit deelvraag één. Hogere levels van automatisatie vergen veel elektrisch vermogen waardoor autonome voertuigen gepaard zullen gaan met elektrificatie van het goederenvervoer. Hogere levels van automatisatie gaan dus een positieve invloed hebben op het klimaat en ook op het tekort aan chauffeurs aangezien ze overbodig zijn eens level 5 automatisatie is bereikt. Via autonome bezorgrobots en een tweeledig systeem voor last mile deliveries kunnen autonome voertuigen meerdere uitdagingen tegelijk beïnvloeden. Al dan niet autonome vrachtwagens die de hubs bevoorraden of zelf als mobiele hub fungeren en autonome bezorgrobots of drones die van daaruit de last mile uitvoeren. De last mile deliveries zullen niet enkel via de weg, maar ook via de stoep en eventueel zelfs de lucht uitgevoerd worden en dit zorgt voor meer efficiënte last mile deliveries. Het tweeledig systeem kan er ook voor zorgen dat de grotere goederenvoertuigen als vrachtwagens en bestelwagens uit de stad worden geweerd, wat een positief effect zal hebben op het klimaat en op de congestie. Al moet er worden opgemerkt dat de verwachtingen rond congestie moeilijk in te schatten zijn, doordat autonome voertuigen het mogelijk maakt voor mensen die zich niet met de auto konden verplaatsen om dit nu wel te doen. Als autonome voertuigen zowel onderling als met de infrastructuur worden geconnecteerd dan hebben ze ook de mogelijkheid om de veiligheid te verhogen. 94% van de ongevallen wordt veroorzaakt door menselijke fouten, vanaf level vier automatisatie en met connectiviteit kunnen autonome voertuigen dus een groot verschil maken op vlak van veiligheid.

Om de vierde en laatste deelvraag "Welke verwachtingen hebben bedrijven en openbare instanties van autonome voertuigen?" te beantwoorden is er gebruik gemaakt van een empirische studie. Door middel van expertinterviews is er een antwoord gezocht op deze vraag en deze antwoorden werden getoetst aan de literatuurstudie. De respondenten hun verwachtingen rond de elektrificatie van autonome voertuigen en de invloed op het klimaat sluit aan met de verwachtingen uit de literatuur en ook zij verwachten een positieve invloed op het klimaat. Ze halen ook het huidige chauffeurstekort aan en de grote invloed ervan op de transportwereld, dit zal volgens de respondenten dan ook een belangrijk voordeel zijn van autonome voertuigen met een grote impact op de logistiek. Net als de stijging in efficiënte van het gebruik van dure voertuigen. De respondenten zijn het ook eens over de bevordering van de veiligheid als autonome voertuigen worden geïmplementeerd. Over last mile deliveries zijn de respondenten niet helemaal overtuigd. Ze zien vooral opportuniteiten voor hub naar hub transport en als ze mogelijkheden zien voor autonome last mile deliveries verwachten ze dit enkel voor kleinere

pakketjes in standaard verpakkingen. Ze schatten daarom ook de impact van last mile deliveries op congestie niet zo hoog in. Ze verwachten wel een betere planning van het goederenvervoer aangezien de autonome voertuigen nonstop kunnen rijden, waardoor piekuren vermeden kunnen worden en congestie zou kunnen afnemen door de betere spreiding van ritten. Toch zijn er ook twijfels rond congestie en zijn er ook respondenten die zelfs een stijging verwachten doordat autonome voertuigen meer mensen toelaten de wagen te gebruiken, zoals bejaarden of minderjarigen. Twee beperkingen moeten volgens de respondenten nog overwonnen worden. Ten eerste de infrastructuur om een elektrificatie van het transport mogelijk te maken, die noodzakelijk is voor autonome voertuigen. Ten tweede het ontbreken van een wettelijk kader in verband met aansprakelijkheid en ethische kwesties. Over dit laatste zijn ze het unaniem eens dat het geen optie is om autonome voertuigen te gebruiken op de openbare wegen zonder duidelijkheid hierover.

Door de vier deelvragen te beantwoorden kan er ook een antwoord gevormd worden op de centrale onderzoeksvraag "*Wat zijn de opportuniteiten van autonome voertuigen binnen het wegtransport van goederen?*". Uit het onderzoek kunnen we duidelijk besluiten dat er veel opportuniteiten liggen voor autonome voertuigen om een positieve impact te hebben op belangrijke uitdagingen als klimaat, chauffeurstekorten, last mile deliveries en veiligheid. Enkel op vlak van congestie zijn er eventueel voor- en nadelen verbonden aan autonome voertuigen, doordat het toelaten van mensen die ervoor de optie niet hadden om zelf met de wagen te rijden een stijging van het verkeer kan veroorzaken. Voor autonome voertuigen deze opportuniteiten kunnen waarmaken in de toekomst moet er wel voldaan worden aan twee belangrijke uitdagingen die het autonoom vervoer beperken momenteel. Ten eerste moet de connectiviteit tussen autonome voertuigen onderling en met de infrastructuur op punt staan en ten tweede moet er een duidelijk wettelijk kader komen omtrent alles wat met autonome voertuigen te maken heeft.

5. Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek

Autonome voertuigen zijn nog niet volledig gecommmercialiseerd. Er zijn wel toepassingen van lagere levels van automatisatie, maar volledig autonoom rijden met level vijf automatisatie kan nog niet. Het is daarom nog niet mogelijk om onderzoek te doen naar de effectieve impact van autonome goederenvoertuigen in de praktijk. Als de uitdagingen rond wetgeving en connectiviteit zijn opgelost kan er in de beginfase bijvoorbeeld wel al een businesscase uitgevoerd worden waarin de opportuniteiten van autonoom goederenvervoer met hogere levels van automatisatie worden onderzocht.

Een andere beperking voor dit onderzoek is de focus op westerse regio's zoals Europa en de Verenigde Staten. In de literatuur die uit de gebruikte databanken komt zijn enkel testen en toepassingen uit voorgaande regio's gekomen. Enkel voor het zoeken naar een wetgeving is er specifiek in Azië gezocht. Voor toekomstig onderzoek kan het interessant zijn om meer te focussen op oosterse landen zoals China en Japan die op vlak van technologie vaak voorlopen op de westerse landen. Bovendien kan het ook interessant zijn om te onderzoeken hoe mensen staan tegenover autonome voertuigen en wat de impact kan zijn voor de implementatie van autonoom goederenvervoer.

Daarnaast is er ook de beperkte variatie in respondenten tijdens het empirisch onderzoek. In dit onderzoek zijn er experts geïnterviewd die allemaal actief zijn in de logistieke sector, maar die niet per se al actief bezig waren met autonome voertuigen. Voor toekomstig onderzoek is het sterk aanbevolen om personen actief in de auto-industrie, die bezig zijn met het ontwikkelen van autonome voertuigen of met personen actief binnen de bedrijven die reeds testen met autonome bezorgrobots. Het autonome goederenvervoer start dan ook bij hen en zij kunnen waardevolle inzichten bieden over de uitdagingen waar zij mee te maken krijgen en een andere blik werpen over de verwachtingen voor de toekomst.

Referentielijst

- Acheampong, R. A., & Cugurullo, F. (2019). Capturing the behavioural determinants behind the adoption of autonomous vehicles: Conceptual frameworks and measurement models to predict public transport, sharing and ownership trends of self-driving cars. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 62, 349-375.
- Alioua, A., Hamiroune, R., Amiri, O., Khelifi, M., Senouci, S. M., Gidlund, M., & Abedin, S. F. (2022). Incentive mechanism for competitive edge caching in 5G-enabled Internet of things. *Computer Networks*, 213, 109096.
- Anderson, N. J., Smith, C. K., & Byrd, J. L. (2017). Work-related injury factors and safety climate perception in truck drivers. *American journal of industrial medicine*, 60(8), 711-723.
- Anthony, S. (2014). Google's self-driving car passes 700,000 accident-free miles, can now avoid cyclists, stop at railroad crossings Extreme Tech.
- Deepali. (2022). Application of IoT in Tesla's Self-Driving Cars: Benefits and Potential Risks. Available online <https://www.shiksha.com/online-courses/articles/application-of-iot-in-teslas-self-driving-cars/> (Accessed on 5th August 2023)
- Atwoli L, Erhabor GE, Gbakima AA, et al. COP27 Climate Change Conference—Urgent Action Needed for Africa and the World. *JAMA Pediatr.* 2023;177(1):11-13. doi:10.1001/jamapediatrics.2022.4899
- Bagloee, S.A., Tavana, M., Asadi, M. et al. Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *J. Mod. Transport.* 24, 284-303 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3>
- Bailey, B. N., & Mahaffee, W. F. (2017). Rapid, high-resolution measurement of leaf area and leaf orientation using terrestrial LiDAR scanning data. *Measurement Science & Technology*, 28(6), 64006. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa5cfd>
- Ballare, S., & Lin, J. (2020). Investigating the use of microhubs and crowdshipping for last mile delivery. *Transportation Research Procedia*, 46, 277-284.
- Bauer, R., Hoster, B., Nadel, M., Rose, J., Rutledge, K., & Williams, H. (2021). Differentiating with last-mile delivery.
- Bertozzi, M., Broggi, A., & Fascioli, A. (2000). Vision-based intelligent vehicles: State of the art and perspectives. *Robotics and Autonomous Systems*, 32(1), 1-16. [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(99\)00125-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(99)00125-6)
- Bijelic, M., Gruber, T., & Ritter, W. (2018, June). A benchmark for lidar sensors in fog: Is detection breaking down?. In *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 760-767). IEEE.

- Borghetti, F., Caballini, C., Carboni, A., Grossato, G., Maja, R., & Barabino, B. (2022). The use of drones for last-mile delivery: A numerical case study in milan, italy. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 14(3), 1766. <https://doi.org/10.3390/su14031766>
- Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *Or Spectrum*, 43, 1-58.
- Bradburn, J., Williams, D., Piechocki, R., & Hermans, K. (2015). Connected & Autonomous Vehicles Introducing the Future of Mobility. *Atkins and Intelligent Mobility*.
- Broggi, A., Bertozzi, M., & Fascioli, A. (2000). Architectural issues on vision-based automatic vehicle guidance: the experience of the ARGO project. *Real-Time Imaging*, 6(4), 313-324.
- Brueckner, M., & Lederman, D. (2018). Inequality and economic growth: the role of initial income. *Journal of Economic Growth*, 23, 341-366.
- Bruin, R. W. D. (2022). *Regulating Innovation of Autonomous Vehicles: Improving Liability & Privacy in Europe* (Doctoral dissertation, Uitgeverij deLex BV).
- Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An overview on edge computing research. *IEEE access*, 8, 85714-85728.
- Caputo, A.C. and Pelagagge, P.M. (2006), "Management criteria of automated order picking systems in high-rotation high-volume distribution centers", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 106 No. 9, pp. 1359-1383. <https://doi.org/10.1108/02635570610712627>
- Centre for Economics and Business Research. (2014). The Future Economic and Environmental Costs of Gridlock in 2030. *Report for INRIX*.
- Chandiran, P., Ramasubramaniam, M., Venkatesh, V. G., Mani, V., & Shi, Y. (2023). Can driver supply disruption alleviate driver shortages? A systems approach. *Transport Policy*, 130, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.10.002>
- Hestens, A. (2022). Chauffeurstekort blijft Europese sectoren teisteren. Available online: <https://transportlogistiek.nl/branche/chauffeurstekort-blijft-europese-sectoren-teisteren> (Accessed on 7th May 2023).
- *Clevon completes first north american autonomous delivery in fort worth* (2022). . Business Wire
- Colruyt. (2022). Collect&Go Tests Unmanned Vehicle in Londerzeel. Available online: <https://press.colruytgroup.com/collectgo-tests-unmanned-vehicle-in-londerzeel> (Accessed on 26 March 2023).
- Dalla Chiara, G., Alho, A. R., Cheng, C., Ben-Akiva, M., & Cheah, L. (2020). Exploring benefits of cargo-cycles versus trucks for urban parcel delivery under different demand scenarios. *Transportation research record*, 2674(5), 553-562.
- Darlington, K. (2018). The Social Implications of Driverless Cars. *BBVA OpenMind: Madrid, Spain*.
- de Haan, J., Naus, F., & Overboom, M. (2012). Creative tension in a lean work environment: Implications for logistics firms and workers. *International Journal of Production Economics*, 137(1), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.005>

- De Souza, R., Goh, M., Gupta, S., & Lei, L. (2007). An investigation into the measures affecting the integration of ASEAN's priority sectors (Phase 2): the case of logistics. *REPSF Project*, 6(1).
- Deichmann, J., Ebel, E., Heineke, K., Heuss, R., Kellner, M., & Steiner, F. (2023). Autonomous Driving's Future: Convenient and Connected. *McKinsey & Company*.
- Dikmen, M., & Burns, C. M. (2016, October). Autonomous driving in the real world: Experiences with tesla autopilot and summon. In *Proceedings of the 8th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 225-228).
- Dong, C., & Transchel, S. (2020). A dual sourcing inventory model for modal split transport: Structural properties and optimal solution. *European Journal of Operational Research*, 283(3), 883-900. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.11.050>
- Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G. G., & Magierowski, S. (2016). Vehicle routing problems for drone delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70-85.
- Duarte, F., & Ratti, C. (2018). The impact of autonomous vehicles on cities: A review. *The Journal of Urban Technology*, 25(4), 3-18. <https://doi.org/10.1080/10630732.2018.1493883>
- Duffy, S. H., & Hopkins, J. P. (2013). Sit, stay, drive: The future of autonomous car liability. *SMU Sci. & Tech. L. Rev.*, 16, 453.
- Engesser, V., Rombaut, E., Vanhaverbeke, L., & Lebeau, P. (2023). Autonomous Delivery Solutions for Last-Mile Logistics Operations: A Literature Review and Research Agenda. *Sustainability*, 15(3), 2774.
- Esenogho, E., Djouani, K., & Kurien, A. M. (2022). Integrating artificial intelligence Internet of Things and 5G for next-generation smartgrid: A survey of trends challenges and prospect. *IEEE Access*, 10, 4794-4831.
- European Environment Agency. (2019). The First and Last Mile—The Key to Sustainable Urban Transport. *Transport and Environment Report 2019*, 46.
- European Transport Safety Council (ETSC). Ranking EU Progress. In *13th Road Safety Performance Index Report*; European Transport Safety Council: Brussels, Belgium, 2019.
- Goetting. (2012). Fahrerloser LKW in einer Molkerei. Available online <http://www.goetting.de/news/2012/molkerie> (Accessed on 18th May 2023)
- Figliozzi, M. A. (2020). Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102443.
- Flämig, H. (2016). Autonomous vehicles and autonomous driving in freight transport (pp. 365-385). Springer Berlin Heidelberg.
- Fridman, L. (2018). Human-centered autonomous vehicle systems: Principles of effective shared autonomy. *arXiv preprint arXiv:1810.01835*.
- Garland, M. (2023). Improved autonomy leads to profitable robot deliveries for cartken. *Supply Chain Dive*,

- Gester, F., & Bogdanski, R. (2017). Innovationen auf der letzten Meile–Bewertung der Chancen für eine nachhaltige Stadtlogistik von morgen.
- Gino Marchet, Marco Melacini & Sara Perotti (2015) Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18:1, 82-98, DOI: [10.1080/13675567.2014.945400](https://doi.org/10.1080/13675567.2014.945400)
- Global, E. V. (2017). Outlook 2018, International Energy Agency.
- Greer, L., Fraser, J. L., Hicks, D., Mercer, M., & Thompson, K. (2018). *Intelligent transportation systems benefits, costs, and lessons learned: 2018 update report* (No. FHWA-JPO-18-641). United States. Dept. of Transportation. ITS Joint Program Office.
- Groß, P. O., Geisinger, M., Ehmke, J. F., & Mattfeld, D. C. (2016). Interval travel times for more reliable routing in city logistics. *Transportation Research Procedia*, 12, 239-251.
- Guo, X., Lujan Jaramillo, Y. J., Bloemhof-Ruwaard, J., & Claassen, G. D. H. (2019). On integrating crowdsourced delivery in last-mile logistics: A simulation study to quantify its feasibility. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118365.
- Ha, N. T., Akbari, M., & Au, B. (2022). Last mile delivery in logistics and supply chain management: A bibliometric analysis and future directions. *Benchmarking : An International Journal*, <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2021-0409>
- Hakak, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., Ramu, S. P., M, P., De Alwis, C., & Liyanage, M. (2023). Autonomous vehicles in 5G and beyond: A survey. *Vehicular Communications*, 39, 100551. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100551>
- Harper, C. D., Hendrickson, C. T., Mangones, S., & Samaras, C. (2016). Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. *Transportation research part C: emerging technologies*, 72, 1-9.
- He, H. (2017). An analysis of the ethical dilemma, causes and countermeasures of driverless vehicles. *Stud. Dialectics Nat.*, 33, 58-62.
- Hecht, J. (2018). Lidar for self-driving cars. *Optics and Photonics News*, 29(1), 26-33.
- <https://delivers.ai/> (accessed on 1 April 2023)
- Rastogi, H. (2022). IoT in Tesla: Applications, Benefits and Potential Risks Available online <https://analyticssteps.com/blogs/iot-tesla-applications-benefits-and-potential-risks> (Accessed on 5th August 2023)
- Jaghbeer, Y., Hanson, R., and Johansson, M. I.. (2020). Automated order picking systems and the links between design and performance: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4489–4505. <http://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788734>
- Ji-Hyland, C., & Allen, D. (2022). What do professional drivers think about their profession? An examination of factors contributing to the driver shortage. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(3), 231-246.
- Jochem, T., & Pomerleau, D. (1995). No hands across america official press release. *Carnegie Mellon University*.

- Jones, D. W. (2010). *Mass motorization and mass transit: An American history and policy analysis*. Indiana University Press.
- Kato, S., Takeuchi, E., Ishiguro, Y., Ninomiya, Y., Takeda, K., & Hamada, T. (2015). An open approach to autonomous vehicles. *IEEE Micro*, 35(6), 60-68.
- Kerry, C. F., & Karsten, J. (2017). Gauging investment in self-driving cars. *Brookings Institution*, October, 16.
- Khan, R., Tausif, S., & Javed Malik, A. (2019). Consumer acceptance of delivery drones in urban areas. *International Journal of Consumer Studies*, 43(1), 87-101. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12487>
- Khayyam, H., Javadi, B., Jalili, M., & Jazar, R. N. (2020). Artificial intelligence and internet of things for autonomous vehicles. *Nonlinear Approaches in Engineering Applications: Automotive Applications of Engineering Problems*, 39-68.
- Kim, G., Eom, J., Choi, J., & Park, Y. (2017). Mutual interference on mobile pulsed scanning lidar. *IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications*, 12(1), 43-62.
- Kockelman, K. M., Avery, P., Bansal, P., Boyles, S. D., Bujanovic, P., Choudhary, T., ... & Stewart, D. (2016). *Implications of connected and automated vehicles on the safety and operations of roadway networks: A final report* (No. FHWA/TX-16/0-6849-1).
- Korkmaz, K., & Koo, H. (2022). Adaptation of Autonomous Vehicles into Highways and Roads. *EPIc Series in Built Environment*, 3, 425-433.
- Kutela, B., Das, S., & Dadashova, B. (2022). Mining patterns of autonomous vehicle crashes involving vulnerable road users to understand the associated factors. *Accident Analysis & Prevention*, 165, 106473.
- Last- Mile Delivery. Available online: <https://www.lmad.eu/last-mile-delivery/> (Accessed on 2 April 2023)
- Lee, C., Ward, C., Raue, M., D'Ambrosio, L., & Coughlin, J. F. (2017). Age differences in acceptance of self-driving cars: A survey of perceptions and attitudes. In *Human Aspects of IT for the Aged Population. Aging, Design and User Experience: Third International Conference, ITAP 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings, Part I 3* (pp. 3-13). Springer International Publishing.
- Lee, Y., Ahn, T., Lee, C., Kim, S., & Park, K. (2020). A novel path planning algorithm for truck platooning using V2V communication. *Sensors*, 20(24), 7022.
- Torchinsky, J. (2022). Level 3 Autonomy Is Confusing Garbage. Available online <https://www.theautopian.com/level-3-autonomy-is-confusing-garbage/> (Accessed on 20th May 2023)
- Li, B., Liu, S., Tang, J., Gaudiot, J., Zhang, L., & Kong, Q. (2020). Autonomous last-mile delivery vehicles in complex traffic environments. *Computer (Long Beach, Calif.)*, 53(11), 26-35. <https://doi.org/10.1109/MC.2020.2970924>

- Li, M., & Sun, X. (2022). Path Optimization of Low-Carbon Container Multimodal Transport under Uncertain Conditions. *Sustainability*, 14(21), 14098. <https://doi.org/10.3390/su142114098>
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2018). 5G Internet of Things: A survey. *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 1-9.
- Li, W., Huang, Y., Wang, S., & Xu, X. (2022). Safety criticism and ethical dilemma of autonomous vehicles. *AI and Ethics*, 2(4), 869-874.
- Liang, S., & Wang, J. (Eds.). (2019). *Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications*. Academic Press.
- Litman, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions* (p. 28). Victoria, BC, Canada: Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2023). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria, BC, Canada: Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, Q., Wang, X., Wu, X., Glaser, Y., & He, L. (2021). Crash comparison of autonomous and conventional vehicles using pre-crash scenario typology. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106281.
- Liu, X., Sun, X., & Xia, X. (2021). LiDAR point's elliptical error model and laser positioning for autonomous vehicles. *Measurement Science & Technology*, 32(3), 35107. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/abc6e1>
- Lummus, R. R., Krumwiede, D. W., & Vokurka, R. J. (2001). The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition. *Industrial management & data systems*.
- M. Kyriakidis, J. C. F. de Winter, N. Stanton, T. Bellet, B. van Arem, K. Brookhuis, M. H. Martens, K. Bengler, J. Andersson, N. Merat, N. Reed, M. Flament, M. Hagenzieker & R. Happee (2019) A human factors perspective on automated driving, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20:3, 223-249, DOI: [10.1080/1463922X.2017.1293187](https://doi.org/10.1080/1463922X.2017.1293187)
- Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., & Laporte, G. (2020). Drone-aided routing: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 120, 102762.
- Madadi, B., van Nes, R., Snelder, M., & van Arem, B. (2020). A bi-level model to optimize road networks for a mixture of manual and automated driving: An evolutionary local search algorithm. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(1), 80-96.
- Malibari, A., Higtani, A., & Saleh, W. (2022). Assessing the impacts of autonomous vehicles on road congestion using microsimulation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(12), 4407. <https://doi.org/10.3390/s22124407>
- Mangano, G., & Zenezini, G. (2019). The Value Proposition of innovative Last-Mile delivery services from the perspective of local retailers. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2590-2595.
- Marsden, N., Bernecker, T., Zöllner, R., Sußmann, N., & Kapser, S. (2018, June). BUGA: log-A real-world laboratory approach to designing an automated transport system for goods in Urban

Areas. In *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1-9). IEEE.

- Martí, L., Puertas, R., & García, L. (2014). The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, 46(24), 2982-2992.
- Maurer, M., Behringer, R., Furst, S., Thomanek, F., & Dickmanns, E. D. (1996, August). A compact vision system for road vehicle guidance. In *Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition* (Vol. 3, pp. 313-317). IEEE.
- Mehndiratta, M., & Kayacan, E. (2019). A constrained instantaneous learning approach for aerial package delivery robots: onboard implementation and experimental results. *Autonomous Robots*, 43, 2209-2228.
- Hawkins, A. (2023). Mercedes-Benz is the first to bring Level 3 automated driving to the US. Available online <https://www.theverge.com/2023/1/27/23572942/mercedes-drive-pilot-level-3-approved-nevada> (Accessed on 19th May 2023)
- Metz, D. (2018). Developing policy for urban autonomous vehicles: Impact on congestion. *Urban Science*, 2(2), 33. <https://doi.org/10.3390/urbansci2020033>
- Michałowska, M., & Ogłodziński, M. (2017). Autonomous vehicles and road safety. In *Smart Solutions in Today's Transport: 17th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2017, Katowice-Ustroń, Poland, April 5-8, 2017, Selected Papers 17* (pp. 191-202). Springer International Publishing.
- Millar, M. (2016). Challenges of the last mile delivery in serving E-commerce business. *Retrieved on May*.
- Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities. *Journal of Planning Education and Research*, 38(1), 6-12. <https://doi.org/10.1177/0739456X16675674>
- Monios, J., & Bergqvist, R. (2019). The transport geography of electric and autonomous vehicles in road freight networks. *Journal of Transport Geography*, 80, 102500.
- Moshref-Javadi, M., Hemmati, A., & Winkenbach, M. (2021). A comparative analysis of synchronized truck-and-drone delivery models. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107648. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107648>
- Nadler, D. (2016). For Autonomous Vehicles, 2016 Was a Breakthrough Year. *Institutional Investor*, <https://www.proquest.com/trade-journals/autonomous-vehicles-2016-was-breakthrough-year/docview/1860702914/se-2>
- Nair, G. S., & Bhat, C. R. (2021). Sharing the road with autonomous vehicles: Perceived safety and regulatory preferences. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 122, 102885. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102885>
- European Commission. (2023). New EU rules on dedicated airspace for drones enter into force. Available online https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-dedicated-airspace-drones-enter-force-2023-01-26_en (Accesses on 2th of July)
- European Commission. (2023). New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. Available online

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4312 (Accessed on 20th May 2023)

- Ning, H., Yin, R., Ullah, A., & Shi, F. (2021). A survey on hybrid human-artificial intelligence for autonomous driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6011-6026.
- Colruyt. (2023). Onbemand voertuig CLEVON 1 doet eerste aanhuisleveringen voor Collect&Go Available online <https://press.colruytgroup.com/onbemand-voertuig-clevon-1-doet-eerste-aanhuisleveringen-voor-collectgo> (Accessed on 21th May 2023)
- Othman, K. (2021). Public acceptance and perception of autonomous vehicles: a comprehensive review. *AI and Ethics*, 1(3), 355-387.
- Pastorello, C., & Melios, G. (2016). Explaining road transport emissions: a non-technical guide.
- Peleckienė, V., Peleckis, K., Klymchuk, A., Tomashuk, I., & Semenyshyna, I. (2022). Economic growth, motorization level, traffic safety: Are they related (experience of EU countries).
- Perry, M., & Shenker, S. (2021). Vertex: A Unified Edge Computing Environment.
- Petrović, Đ., Mijailović, R., & Pešić, D. (2020). Traffic accidents with autonomous vehicles: type of collisions, manoeuvres and errors of conventional vehicles' drivers. *Transportation research procedia*, 45, 161-168.
- Phares, J., & Balthrop, A. (2022). Investigating the role of competing wage opportunities in truck driver occupational choice. *Journal of Business Logistics*, 43(2), 265-289.
- Pi, M., Yeon, H., Son, H., & Jang, Y. (2019). Visual cause analytics for traffic congestion. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 27(3), 2186-2201.
- Poeting, M., Schaudt, S., & Clausen, U. (2019, December). A comprehensive case study in last-mile delivery concepts for parcel robots. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1779-1788). IEEE.
- Pradalier, C., Hermosillo, J., Koike, C., Brailon, C., Bessière, P., & Laugier, C. (2005). The cycab: a car-like robot navigating autonomously and safely among pedestrians. *Robotics and Autonomous Systems*, 50(1), 51-67.
- Gerth, A. (2023). Primeur in Europa: Carrefour België test autonome bezorging door robot dankzij de kunstmatige intelligentie van DELIVERS.AI. Available online: <https://newsroom.carrefour.be/primeur-in-europa-carrefour-belgie-test-autonome-bezorging-door-robot-dankzij-de-kunstmatige-intelligentie-van-deliversai> (accessed on 1 April 2023).
- R Andriansyah, L F P Etman, I J B F Adan & J E Rooda (2014) Design and analysis of an automated order-picking workstation, *Journal of Simulation*, 8:2, 151-163, DOI: [10.1057/jos.2013.24](https://doi.org/10.1057/jos.2013.24)
- R Yacoub, A. (2022). Liability and Regulatory Oversight of Semi-Autonomous and Autonomous Vehicles. Boston University journal of Science and Technology Law, Forthcoming.
- Rad, S. R., Farah, H., Taale, H., van Arem, B., & Hoogendoorn, S. P. (2020). Design and operation of dedicated lanes for connected and automated vehicles on motorways: A conceptual

framework and research agenda. *Transportation research part C: emerging technologies*, 117, 102664.

- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, 10(3), 782.
- Kadry, M. (2021). Road to 2030: The future of Autonomous Vehicles (AVs) Available online <https://www.cubiclecom.com/blog/self-driving-cars-future-of-autonomous-vehicles-automotive-vehicles-2030/> (Accessed on 27th May 2023)
- Schneider, B. (2023). Robotaxis are here. It's time to decide what to do about them. Available online <https://www.technologyreview.com/2023/06/23/1074270/robotaxis-decision-time/> (Accessed on 8th of July)
- Romanow, P., & Fraś, J. (2022). The Labour Market of Professional Drivers in Poland in the Period of Structural and Pandemic Changes. *European Research Studies*, 25(2), 72-83. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/labour-market-professional-drivers-poland-period/docview/2701149548/se-2>
- Rosique, F., Navarro, P. J., Fernández, C., & Padilla, A. (2019). A systematic review of perception system and simulators for autonomous vehicles research. *Sensors*, 19(3), 648.
- Royo, S., & Ballesta-Garcia, M. (2019). An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 9(19), 4093. <https://doi.org/10.3390/app9194093>
- SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee. (2014). Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. *SAE Standard J*, 3016(1), 1-16.
- Schirrer, A., Gratzner, A. L., Thormann, S., Jakubek, S., Neubauer, M., & Schildorfer, W. (2022). Road safety issues related to truck platooning deployment. *Energy-efficient and semi-automated truck platooning* (). Springer International Publishing AG.
- Sestino, A., & De Mauro, A. (2022). Leveraging artificial intelligence in business: Implications, applications and methods. *Technology Analysis & Strategic Management*, 34(1), 16-29.
- Shetty, A., Yu, M., Kurzhanskiy, A., Grembek, O., Tavafoghi, H., & Varaiya, P. (2021). Safety challenges for autonomous vehicles in the absence of connectivity. *Transportation research part C: emerging technologies*, 128, 103133.
- Skeete, J. P. (2018). Level 5 autonomy: The new face of disruption in road transport. *Technological Forecasting and Social Change*, 134, 22-34.
- Skiver, R. L., & Godfrey, M. (2017). Crowdserving: A last mile delivery method for brick-and-mortar retailers. *Global Journal of Business Research*, 11(2), 67-77.
- Szűcs, H., & Hézer, J. (2022). Road safety analysis of autonomous vehicles: An overview. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 50(4), 426-434.
- Talebpour, A., Mahmassani, H. S., & Elfar, A. (2017). Investigating the effects of reserved lanes for autonomous vehicles on congestion and travel time reliability. *Transportation Research Record*, 2622(1), 1-12.

- Taxonomy, S. A. E. (2018). Definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE: Warrendale, PA, USA, 3016*.
- Teoh, E. R., & Kidd, D. G. (2017). Rage against the machine? google's self-driving cars versus human drivers. *Journal of Safety Research, 63*, 57-60. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.08.008>
- Thakur, A., & Mishra, S. K. (2023, February). Review on vision-based control using artificial intelligence in autonomous ground vehicle. In Proceedings of the International Conference on Paradigms of Computing, Communication and Data Sciences: PCCDS 2022 (pp. 617-626). Singapore: Springer Nature Singapore.
- The Cost of Self-Driving Cars Will Be the Biggest Barrier to Their Adoption. Available online <https://hbr.org/2019/01/the-cost-of-self-driving-cars-will-be-the-biggest-barrier-to-their-adoption>
- Urmson, C. (2008). Self-driving cars and the urban challenge. *IEEE Intelligent Systems, 23*(2), 66-68.
- Vakulenko, Y., Shams, P., Hellström, D., & Hjort, K. (2019). Service innovation in e-commerce last mile delivery: Mapping the e-customer journey. *Journal of Business Research, 101*, 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.016>
- Vargas, A., Patel, S., & Patel, D. (2018). Towards a business model framework to increase collaboration in the freight industry. *Logistics, 2*(4), 22.
- Verlinde, S., Macharis, C., Milan, L., & Kin, B. (2014). Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. *Transportation Research Procedia, 4*, 361-373.
- VINYAS, D. S., NANJUNDESWARASWAMY, T. S., Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, JSS Academy of Technical Education, Bangalore, Karnataka, India, & UG Scholar, Department of Mechanical Engineering, JSS Academy of Technical Education, Bangalore, Karnataka, India. (2019). artificial intelligence in autonomous vehicles - a literature review. *I-Manager's Journal on Future Engineering and Technology, 14*(3), 56. <https://doi.org/10.26634/jfet.14.3.15149>
- Wang, B. (2020). Semi-truck AI enhanced cruise control will improve fuel efficiency by 10% in 2021. Moffett Field: Newstex.
- Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., Zhao, J., & Bella, F. (2020). Safety of autonomous vehicles. *Journal of advanced transportation, 2020*, 1-13.
- Wang, K., Pesch, E., Kress, D., Fridman, I., & Boysen, N. (2022). The piggyback transportation problem: Transporting drones launched from a flying warehouse. *European Journal of Operational Research, 296*(2), 504-519. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.03.064>
- Cameron, B. (2019). Why Truck Makers Are Skipping Level 3. Available online <https://www.ttnews.com/articles/why-truck-makers-are-skipping-level-3#:~:text=Their%20ultimate%20failure%20stemmed%20largely,when%20prompted%20to%20do%20so>. (Accessed on 20th May 2023)

- Xie, W., Chen, C., & Sithipolvanichgul, J. (2022). Understanding e-commerce customer behaviors to use drone delivery services: A privacy calculus view. *Cogent Business & Management*, 9(1)<https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2102791>
- Yasin, Y. J., Grivna, M., & Abu-Zidan, F. M. (2021). Global impact of COVID-19 pandemic on road traffic collisions. *World journal of emergency surgery*, 16, 1-14.
- Zheng, N. N., Liu, Z. Y., Ren, P. J., Ma, Y. Q., Chen, S. T., Yu, S. Y., ... & Wang, F. Y. (2017). Hybrid-augmented intelligence: collaboration and cognition. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(2), 153-179.
- Korosec, K. (2023). Zoox robotaxis start rolling out on California public roads. Available online <https://techcrunch.com/2023/02/13/zoox-robotaxis-start-slowly-rolling-out-on-california-public-roads/> (Accessed on 8th July)