



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

***Naar een duurzamer wegtransport: stand van zaken met betrekking tot e-trucks,
ecocombis en platooning***

Nick Dergent

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

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

***Naar een duurzamer wegtransport: stand van zaken met betrekking tot e-trucks,
ecocombis en platooning***

Nick Dergent

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS

Voorwoord

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelswetenschappen met specialisatie in Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt. Door mijn studentenjob bij een logistiek bedrijf besloot ik te veranderen van universiteit om mijn opleiding af te ronden met een specialisatie in logistiek; een keuze die ik zeker opnieuw zou maken. Ik hoop dat de concepten die in deze masterproef worden onderzocht, ook daadwerkelijk verder in België en Vlaanderen worden ingevoerd.

Deze masterproef en mijn opleiding hadden nooit kunnen slagen zonder de hulp van enkele mensen. Ten eerste wil ik mijn promotor, Prof. dr. Kris Braekers, bedanken voor het onderwerp en de wetenschappelijke feedback tijdens het uitwerken van deze masterproef. Daarnaast wil ik ook mijn vriend, Tom, bedanken voor de vele uren aan spellingscontrole en onvoorwaardelijke steun tijdens zowel mijn bachelor- als masteropleiding. Ik wil ook mijn ouders en zus bedanken voor hun steun tijdens de afgelopen 4,5 jaar. Tot slot wens ik nog mijn beste vriend Ilyas te bedanken voor de drie leuke jaren en de vele groepswerken tijdens onze bacheloropleiding in Brussel.

Na 4,5 jaar komt met deze masterproef een eind aan een mooie studententijd. De vele herinneringen en ervaringen neem ik mee in mijn carrière.

Nick Dergent
Mechelen, december 2019

Samenvatting

De transportsector is een groeiende sector in België. Dat blijkt uit de verschillende gegevens die werden onderzocht. Het getransporteerde volume is na een daling in 2008 opnieuw elk jaar gestegen. Hierdoor zijn meer vrachtwagens nodig om de goederen te transporteren, hetgeen resulteerde in een constante toename van het aantal in België ingeschreven vrachtwagens en trekkers. In het eerste opzicht lijkt dit goed voor de transportondernemingen. Echter hebben zij te kampen met een chauffeurstekort en stijgende prijzen voor brandstof hetgeen leidde tot nog kleinere marges. Naast de negatieve effecten waar transportondernemingen mee te kampen hebben, lijdt het milieu en de omgeving onder de groter wordende transportsector. In 2017 was de transportsector met 22,5% de sector met het hoogste aandeel wat betreft de uitstoot van emissies in België. Door toenemende transportactiviteiten in- en door België stijgt de filezwaarte al geruime tijd. Dit leidt tot nog meer congestie en is nefast voor het aantal ongevallen. Met deze masterproef wordt nagegaan welke invloed drie nieuwe transportconcepten – e-trucks, ecocombi's en platooning – kunnen hebben. Deze drie concepten hebben betrekking op vervoer van goederen over de weg. Hiervoor is bewust gekozen omdat vervoer over de weg een bepaalde flexibiliteit met zich meebrengt waar de transporteurs en hun klanten niet op willen inboeten.

E-trucks zijn voertuigen die zich voortbewegen door de aandrijving van een electromotor en die enkel energie gebruiken van een *battery pack*, dat opgeladen wordt vanaf het elektriciteitsnet (Electrification Coalition, in Pelletier, Jabali, & Laporte, 2016). Tijdens het onderzoek is gebleken dat de e-trucks het minst ver staan in ontwikkeling. Er zijn een aantal bedrijven die een e-truck, in de vorm van een vrachtwagen, gebruiken voor stadsdistributie of die e-trucks in de nabije toekomst willen inzetten voor distributie over korte afstand. De ontwikkelingen voor e-trucks in de vorm van een trekker, worden gefinaliseerd door de ontwikkelaars. De verwachting is dat in de komende jaren een e-truck kan worden gelanceerd met een voldoende hoge actieradius. De actieradius is op dit moment een onzekere factor tijdens de rittenplanning. Daarom werden twee rittenplanningsproblemen onderzocht die specifiek rekening houden met de beperkingen van e-trucks. Bedrijven staan vaak weigerachtig ten opzichte van de implementatie van e-trucks. Een belangrijke beperking hiervoor is de hoge aanschaffingswaarde. Dit wordt deels gecompenseerd door de lagere brandstofkosten en minder onderhoud. De voordelen van e-trucks zijn de positieve gevolgen voor het milieu. De literatuur is het niet eens over de grootte van de daling van CO₂ emissies. Plötz, Gnann, Jochem, Yilmaz en Kaschub (2019) besluiten dat de CO₂ reductie altijd positief zal zijn, zelfs bij een pessimistisch scenario.

Ecocombi's, ook wel LZV's genoemd, zijn volgens de Belgische wet: "Een sleep, die wegens zijn samenstelling de grenzen inzake massa of afmetingen overschrijdt". In praktijk betekent dit dat de vrachtwagen maximaal 25,25 meter lang mag zijn en maximaal 60 ton mag wegen. De transporteur kan met eenzelfde aantal voertuigkilometers meer goederen verplaatsen. Dit moet volgens Ortega, Vassallo, Guzmán en Pérez-Martínez (2014) leiden tot een afname van de kosten voor de transporteur. In Vlaanderen is één proefproject afgerond en is er een tweede proefproject lopende. De Vlaamse Regering heeft voor elk proefproject nieuwe wetgeving opgesteld. Bij het tweede proefproject werd het flexibeler voor transportondernemingen om transporten te kunnen uitvoeren per LZV. Het voornaamste doel van de proefprojecten is om na te gaan welke invloed LZV's hebben

op de verkeersveiligheid. Verschillende onderzoeken kwamen tot dezelfde conclusie: er is geen bewijs te vinden dat LZV's een negatieve impact hebben op het aantal ongevallen. ARCADIS (2016) bevestigt dit op basis van een empirische studie in Nederland en stelt zelfs dat het aantal ongevallen kan dalen door LZV's toe te laten op de weg. Na het literatuuronderzoek werd een interview afgenomen met een deelnemer aan het LZV-proefproject in Wallonië. De geïnterviewde is van mening dat er voor iedereen een win-win situatie ontstaat door LZV's toe te laten op de weg. Hij is tevens van mening dat er een algemeen systeem komt in België in plaats van verschillende systemen in elk gewest. Het wordt zo makkelijker voor Belgische transporteurs om rondritten met LZV's te gaan maken. De Vlaamse visie voor de toekomst is nog niet bekend. Er kan worden verwacht dat de Vlaamse overheid, gezien de positieve resultaten, de LZV's makkelijker zal toelaten in de toekomst.

Tot slot wordt in de laatste sectie het concept platooning onderzocht. In deze masterproef wordt de definitie uit Janssen, Zwijnenberg, Blankers en de Kruijff (2015) gehanteerd. Zij omschrijven platooning als: "Het koppelen van twee of drie voertuigen die in een konvooi op een bepaalde, korte afstand volgen door gebruik te maken van communicatietechnologie en automatische rijhulpsystemen." Hierbij zijn er leidende en volgende voertuigen die onderling communiceren met behulp van *vehicle-to-vehicle (V2V)* communicatie. Het onderzoek van Janssen et al. (2015) heeft een *roadmap* opgesteld met de te volgen stappen om platooning in de meest doorgedreven vorm te kunnen implementeren. Het doel is om in een konvooi te rijden met slechts één bestuurder in het leidende voertuig. Dit is op dit moment nog niet mogelijk door de wettelijke beperkingen. Een aantal Europese landen, waaronder België, heeft een amendement ingediend op de internationale wet om platooning in de toekomst mogelijk te maken. Toch werden reeds een aantal proefprojecten rondom platooning afgerond. De grootste test was de European Truck Platooning Challenge. Hierbij reden zes groepen vrachtwagens door Europa heen naar Rotterdam. In de sectie over de voor- en nadelen van platooning werden drie rekenvoorbeelden uitgewerkt: brandstofverbruik, CO₂-emissies en het gebruik van wegcapaciteit. Uit deze rekenvoorbeelden blijkt dat transportondernemingen in het slechtste geval 730 euro per vrachtwagen kunnen besparen aan brandstof en dat de CO₂-emissies met 1,3 ton CO₂ per jaar per vrachtwagen kunnen dalen. Door platooning kunnen vrachtwagens dichter op elkaar rijden, hetgeen leidt tot een daling van de in beslag genomen weg.

De drie concepten die in deze masterproef onderzocht werden, kunnen positieve gevolgen hebben voor zowel de economie als de maatschappij. Er wordt verwacht dat door inzet van e-trucks, ecomobi's en platooning de emissies zullen dalen. Op deze manier kan de transportsector zijn aandeel in de totale emissies doen dalen. Verder wint de maatschappij door e-trucks, ecomobi's en platooning toe te laten. Meerdere studies besluiten dat de verkeersveiligheid er positief op vooruit gaat. Veelal is dit de oorzaak van minder voertuigen op de weg of door inzet van technologie. Uit dit onderzoek kan de aanbeveling worden gemaakt aan de Vlaamse overheid dat het beleid moet blijven inzetten op nieuwe transportconcepten. Op die manier kunnen Vlaamse transporteurs competitief blijven met hun buitenlandse collega's en trekken de buitenlandse transporteurs niet alle *first mover advantages* naar zich toe. In de toekomst moeten onderzoekers de effecten van e-trucks nagaan door middel van simulaties en literatuurstudies en moeten empirische onderzoeken uitgevoerd worden voor de drie concepten.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	vii
Lijst van tabellen	viii
Lijst van afkortingen	ix
1 Probleemstelling	1
1.1 Praktijkprobleem	1
1.1.1 Focus op wegtransport.....	6
1.2 Onderzoeksvraag	6
1.3 Methodologie	7
2 E-trucks.....	9
2.1 Definitie	9
2.2 Stand van zaken	9
2.2.1 Voertuigen reeds op de markt.....	9
2.2.2 Ontwikkeling van e-trucks.....	11
2.3 Beperkingen voor implementatie van e-trucks in de vloot	12
2.4 Planningsproblemen.....	13
2.4.1 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)	13
2.4.2 Electric VRP with Time Windows (E-VRPTW)	14
2.5 Voor- en nadelen voor economie en maatschappij	14
2.5.1 Kosten.....	14
2.5.2 Milieu	16
2.5.3 Actieradius.....	17
2.6 Besluit	18
3 Ecocombi's.....	19
3.1 Definitie en concepten.....	19
3.2 Wettelijk kader.....	20
3.2.1 Koninklijk Besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten	21
3.2.2 Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject (BVR 20/12/2013)	22
3.2.3 Ministerieel besluit (MB) betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject	23

3.2.4	Ministerieel besluit betreffende het basisnetwerk, de voertuigen, de aantakkingstrajecten en de vergunningen voor LZV in het kader van een tweede proefproject	23
3.3	Proefprojecten	24
3.3.1	Proefproject 2014	24
3.3.2	Proefproject 2018	25
3.4	Voor- en nadelen voor economie en maatschappij	29
3.5	Interview met een gebruiker van een LZV	30
3.5.1	Methode en doel	30
3.5.2	Resultaten	30
3.6	Besluit op basis van een SWOT-analyse	32
4	Platooning	34
4.1	Definitie	34
4.1.1	V2V communicatie	34
4.2	Hoe kan platooning werken?	36
4.2.1	Infrastructuur	36
4.2.2	Platoonvorming	37
4.2.3	Niveau van automatisatie	38
4.3	Planningsalgoritmes voor platooning	38
4.4	Wettelijk kader	39
4.4.1	Gedragscode voor testen in België (GCTB)	39
4.5	Proefprojecten	40
4.5.1	SARTRE	40
4.5.2	European Truck Platooning Challenge	41
4.5.3	ENabling Safe Multi-Brand Platooning for Europe (ENSEMBLE)	43
4.6	Voor- en nadelen voor economie en maatschappij	43
4.6.1	Brandstofverbruik	44
4.6.2	Arbeidskosten	45
4.6.3	Optimalisatie van de wegcapaciteit	46
4.6.4	Veiligheid en schade	46
4.6.5	Emissies en congestie	47
4.7	Besluit	48
5	Conclusie	49
	Bibliografie	50

Bijlagen.....	55
1. Mogelijke voertuigcombinaties in België.....	55
2. Voertuigcombinaties in Vlaanderen	56
3. Sjabloon aanvraag traject LZV – Dashbord	57
4. Sjabloon aanvraag traject LZV – Heen/Terug	59
5. Borden Zone 30	60
6. Vragenlijst interview LZV.....	60
7. SAE levels of automation.....	61

Lijst van figuren

Figuur 1: Tonkilometer van goederenvervoer in Vlaanderen (De Coster, 2019b)	1
Figuur 2: Aantal ingeschreven voertuigen per categorie 2008-2019 (Statbel, 2019b)	2
Figuur 3: Aandeel van de verschillende sectoren in de totale uitstoot in 2017 (%) (Klimaat.be, z.j.)	3
Figuur 4: Grafiek filezwaarte in Vlaanderen ("Filezwaarte," 2019)	4
Figuur 5: Gemiddeld officieel tarief van Diesel B7 en de kostprijs voor 1 kWh elektriciteit	5
Figuur 6: Netto elektriciteitsproductie in België volgens bron (2018) (FEBEG, z.j.)	5
Figuur 7: e-truck Citydepot (Heinen, 2016).....	10
Figuur 8: e-truck ABI (Mortelmans, 2019)	10
Figuur 9: Nikola Tre Prototype (Nikola Motor Company, 2019)	11
Figuur 10: Tesla Semi voor Sitra (Van Dooren, 2018a).....	11
Figuur 11: Total costs of ownership voor een medium duty truck (Overgenomen van Tanco et al., 2019)	15
Figuur 12: Kaart Europa - 966 km vanaf Brussel	18
Figuur 13: LZV vs. conventionele truck.....	19
Figuur 14: Dolly ("Dolly Truck [Foto]," z.j.).....	20
Figuur 15: Chronologisch overzicht wetgeving	20
Figuur 16: Voertuigcombinaties niet toegelaten in Vlaanderen	22
Figuur 17: Aantal vergunde LZV's in Vlaanderen per land van inschrijving (S. De Sutter, persoonlijke communicatie, 2 oktober 2019).....	26
Figuur 18: SWOT-analyse LZV.....	32
Figuur 19: V2V (Janssen et al., 2015)	35
Figuur 20: V2I (Parrado & Donoso, 2015).....	35
Figuur 21: Configuratie van een truck in een platoon (Tsugawa et al., 2016).....	35
Figuur 22: Development paths for Truck Platooning (Janssen et al., 2015).....	36
Figuur 23: Landen bij het verdrag inzake wegverkeer ("Partijen bij het verdrag inzake wegverkeer," 2018)	39
Figuur 24: 2-truck en 3-truck platoon ("Photos DAF," z.j.; "Photos Daimler," z.j.).....	41
Figuur 25: Overzicht routes EUTPC ("Routes truck platoons," z.j.)	42
Figuur 26: Voordelen van platooning (Aangepast van Janssen et al., 2015)	44
Figuur 27: Mogelijke voertuigcombinaties in België	55
Figuur 28: Voertuigcombinaties in Vlaanderen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-d)	56

Lijst van tabellen

Tabel 1: Vergelijking guarded platoon en LZV	6
Tabel 2: Zoektermen voor literatuur	8
Tabel 3: 2012 E-TTF key findings (Vertaald van Brotherton, Gilde, & Tomic, 2016)	12
Tabel 4: Definitie voor laag, middel en hoog (Feng & Figliozzi, 2013)	16
Tabel 5: Vergelijking proefprojecten.....	27
Tabel 6: Types en definities van het puntensysteem ("Handleiding Invullen van de tabel voor het aanvragen van een LZV-route (Stap 2)," 2018).....	28
Tabel 7: Situatie die aanvraag aantakkingstraject verwerpen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-a).....	28
Tabel 8: Percentage reguliere rondritten (>20 ton) dat wordt vervangen door LZV's (ARCADIS, 2016)	30
Tabel 9: Modules Platoonconnect.....	37
Tabel 10: Totaal ingeschreven trekkers (nieuw en tweedehands) in 2018 (Febiac, 2019)	41
Tabel 11: Overzicht van beginpunten per fabrikant	42
Tabel 12: Rekenvoorbeeld geldelijke besparing brandstof bij platooning (€/100km)	45
Tabel 13: Afstanden tussen voertuigen (in meter) per tijdsperiode tussen voertuigen (in seconden)	46
Tabel 14: Rekenvoorbeeld daling CO ₂ -emissies (in kg/100km)	47

Lijst van afkortingen

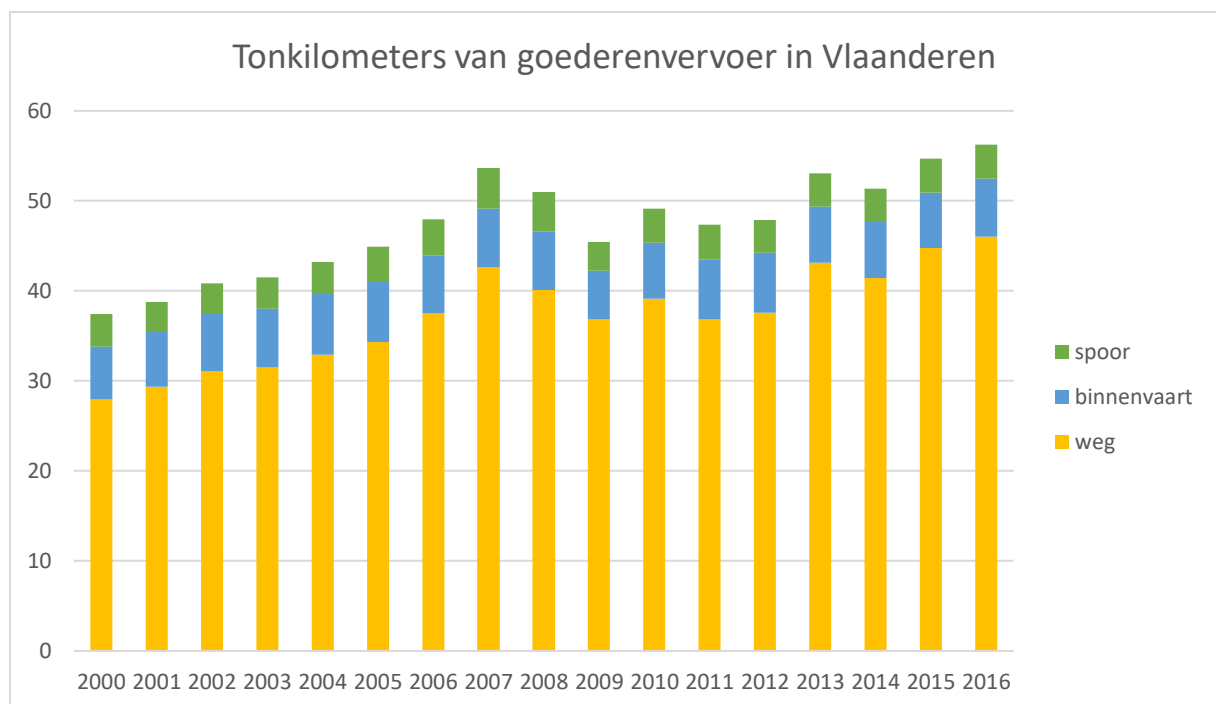
- ABI: AB Inbev
- ACEA: Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
- ARCADE: Aligning Research & Innovation for Connected and Automated Driving in Europe
- BEV: battery electric vehicle
- BVR 19/01/2018: Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een tweede proefproject
- BVR 20/12/2013: Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject
- BVR: Besluit van de Vlaamse Regering
- CBR: Centraal bureau voor rijbewijzen
- CV: Connected Vehicles
- E-TTF: E-truck Task Force
- E-VRPTW: Electric VRP with Time Windows
- ENSEMBLE: Enabling Safe Multi-Brand Platooning for Europe
- EUTPC: European Truck Platooning Challenge
- EVSE: Electric vehicle supply equipment
- FV: Volgend voertuig
- GCTB: Gedragscode voor testen in België
- GVRP: Green Vehicle Routing Problem
- KB 01/12/1975: Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg.
- KB: Koninklijk Besluit
- kWh: kilowattuur
- LHV's: Longer and heavier vehicles
- LV: Leidend voertuig
- LZV's: Langere en zwaardere voertuigen
- MB: Ministerieel besluit
- MOW: Mobiliteit en Openbare Werken
- PSP: platooning service provider
- SAE: Society of Automotive Engineers
- SARTRE: Safe Road Trains for the Environment
- TCO: Total cost of ownership
- V2I: Vehicle-to-infrastructure
- V2V: Vehicle-to-vehicle
- YFC: Youth For Climate

1 Probleemstelling

In deze masterproef zal de focus gelegd worden op drie nieuwe vormen van transport die ertoe kunnen leiden dat de transportsector duurzamer kan werken. In deze eerste sectie wordt het probleem gekaderd binnen een economisch- en maatschappelijke context. Er wordt voornamelijk ingegaan op de transportkosten en de belasting op het milieu en de omgeving en hoe de duurzame alternatieven hierop een antwoord kunnen bieden. In sectie 1.1.1 wordt dieper ingegaan op de reden waarom enkel wegtransport wordt onderzocht. Daarna wordt de onderzoeksvraag opgesteld en worden bijvragen geformuleerd die helpen om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Aan het eind van deze sectie wordt de methodologie besproken.

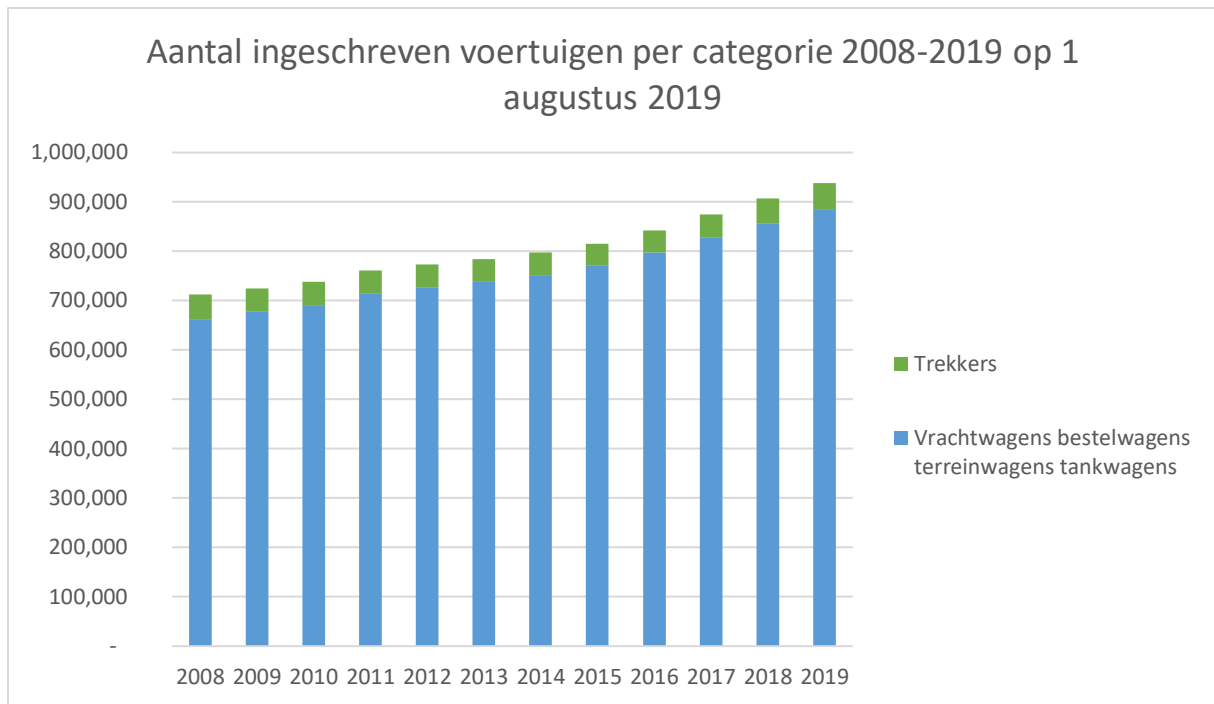
1.1 Praktijkprobleem

Door de jaren heen is het aantal tonkilometers van goederenvervoer in Vlaanderen toegenomen. Figuur 1 geeft een overzicht van de tonkilometers van goederenvervoer in Vlaanderen. Hieruit blijkt dat het goederenvervoer over de weg in Vlaanderen in de periode 2000 – 2016 een dominante positie had. Het goederenvervoer over de weg had in de periode 2000 – 2016 een aandeel van meer dan 75% van de gereden tonkilometers in Vlaanderen. In 2016 steeg dit aandeel naar 82%.



Figuur 1: Tonkilometer van goederenvervoer in Vlaanderen (De Coster, 2019b)

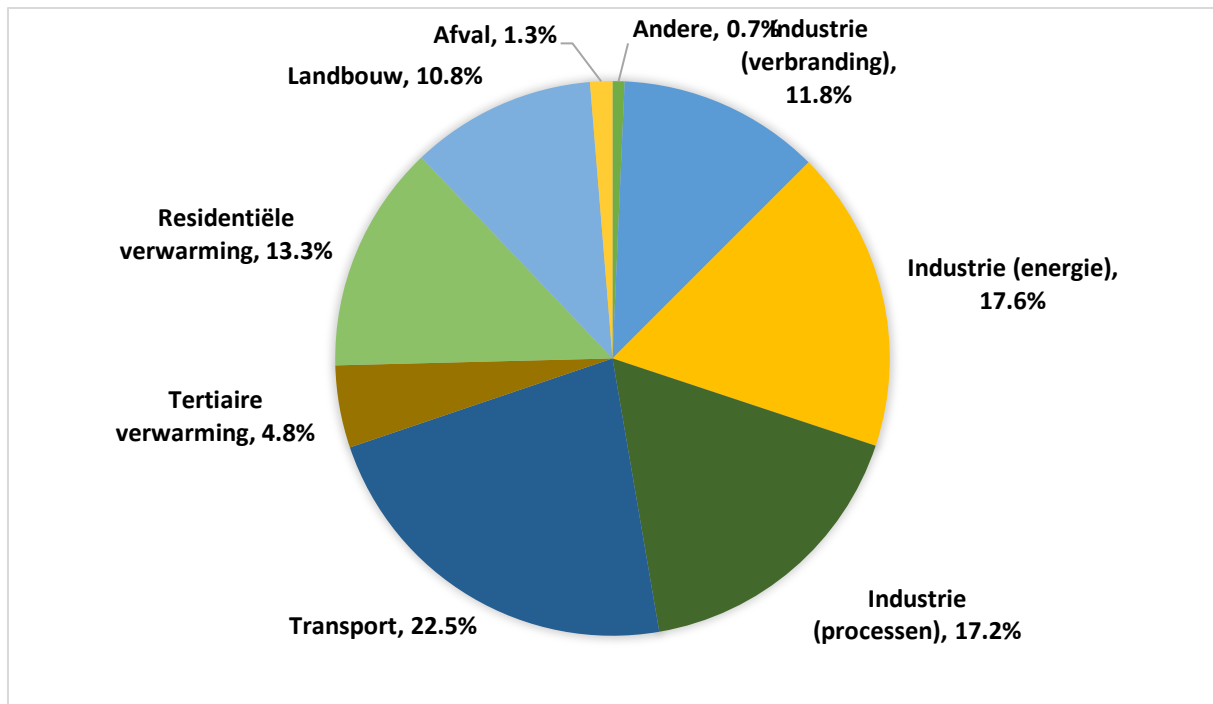
Door de stijging in het aantal tonkilometers zijn er meer vrachtwagens nodig om de goederen te transporteren. Dit resulteerde in een toename van het aantal vrachtwagens, bestelwagens, terreinwagens, tankwagens en trekkers met 32% over de periode 2008 – 2019 (Zie Figuur 2).



Figuur 2: Aantal ingeschreven voertuigen per categorie 2008-2019 (Statbel, 2019b)

Het groter aantal vrachtwagens op de weg heeft een impact op de filezwaarte. Daarom zoekt de transportsector naar alternatieven om met minder vrachtwagens, dezelfde hoeveelheid goederen te kunnen verplaatsen.

Naast het gegeven van de toename van voertuigen, is de verandering van het klimaat sinds enkele jaren een belangrijk thema in de actualiteit. Met de start van de jongerenbeweging Youth For Climate (YFC), begin 2019, zijn zowel ondernemingen als burgers zich meer bewust over hoe zij kunnen bijdragen tot een beter klimaat. Hoewel het procentuele aandeel emissies van wegtransport voor goederen door de jaren heen stabiel is gebleven (56% – 60%), is er een stijging te zien van 15% over de periode 2000 – 2016 wat betreft de absolute emissies De Coster (2019a). Figuur 3 toont dat de totale transportsector – dit is personen- en goederenvervoer over de weg, het spoor, via de lucht en per schip – verantwoordelijk is voor 25% van de totale emissies. Omwille van het toenemende aandeel in de uitstoot van de transportsector (Klimaat.be, z.j.) moet de transportsector dringend op zoek naar duurzame alternatieven.

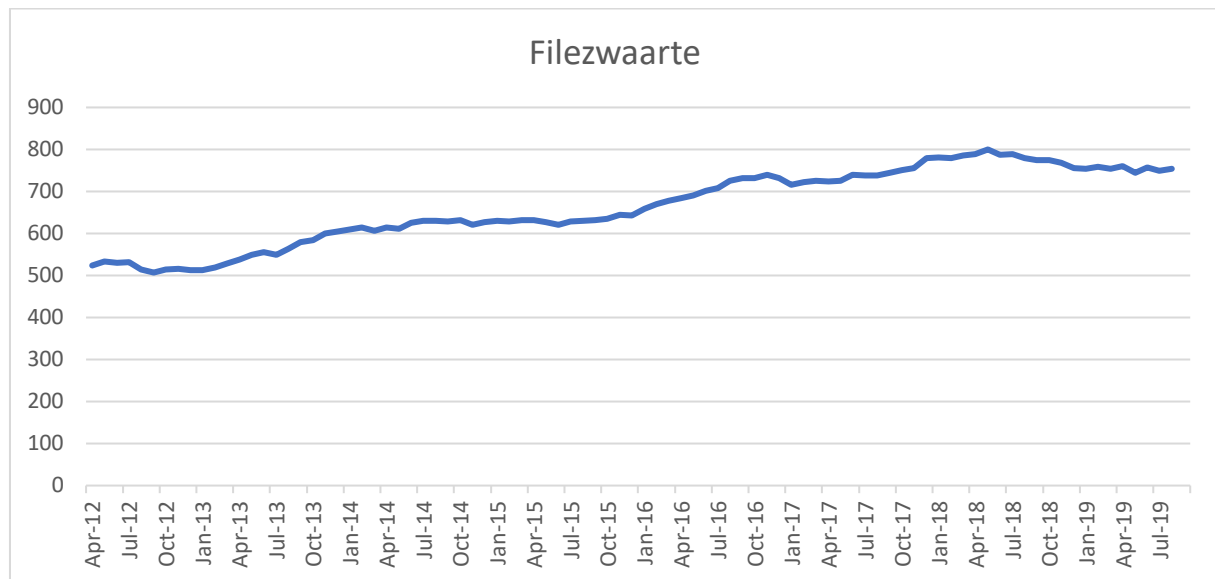


Figuur 3: Aandeel van de verschillende sectoren in de totale uitstoot in 2017 (%) (Klimaat.be, z.j.)

In wat volgt zullen de termen transportsector en wegtransport zich enkel beperken tot goederenvervoer, tenzij anders staat aangegeven.

De transportkosten voor de transportondernemingen nemen de laatste jaren sterk toe. Meerdere factoren liggen aan de basis van deze stijging. Een eerste oorzaak is het tekort aan chauffeurs. De transportbedrijven ondervinden veel moeilijkheden om voldoende geschikte chauffeurs te vinden om te voldoen aan de gevraagde capaciteit (Van Dooren, 2018b; Vanacker, 2018). Dit tekort zorgt voor een betere onderhandelingsmacht van de werknemers om betere loonvoorwaarden te bekomen. Bijkomend zorgt ook de automatische loonindexatie in België voor een stijging van de lonen binnen de transportsector (Slegers, 2018). Een tweede factor zijn de toenemende brandstofkosten (Slegers, 2018; Van Dooren, 2018b; Vanacker, 2018). Volgens Kot (2015) maakt brandstof voor 30% tot 70% deel uit van de totale transportkost, naargelang de grootte van het bedrijf. Door het hoge aandeel van brandstofkosten in de transportkost, kan een duurzame transportmethode – e-trucks, ecocombi's of platooning – leiden tot een daling van het aandeel van brandstof in de totale transportkosten. Een derde element dat invloed heeft op de transportkosten zijn de stijgende tolkosten in België, Duitsland en Frankrijk (Slegers, 2018). Deze tolgelden worden meestal doorberekend aan de klant. Een vierde element zijn de toenemende congestiekosten (Vanacker, 2018). Figuur 4 toont dat er in Vlaanderen een toename is van de filezwaarte over de periode 2012 – 2019. Filezwaarte is de gemiddelde omvang van de files op een bepaalde verzameling van wegen ("Filezwaarte," 2019). In de periode april 2012 – augustus 2019 is de filezwaarte met 44% toegenomen, hetgeen extra druk geeft op de flexibiliteit van wegtransport. Deze extra wachtkosten worden door Maarten Gommeren in het artikel van Vanacker (2018, p. 2) omschreven als: "Als ze in de file staan, zie ik de loonkosten stijgen, maar staat de omzet stil." De transporteurs zullen deze extra wachtkosten dan ook gaan doorrekenen in hun transportprijs. Een laatste belangrijk element zorgt voor een stijgende verkoopprijs van transportdiensten door de toename in de transportkosten. Door een stijgende vraag naar transportdiensten (Vanacker, 2018) zorgt de wet van vraag en aanbod

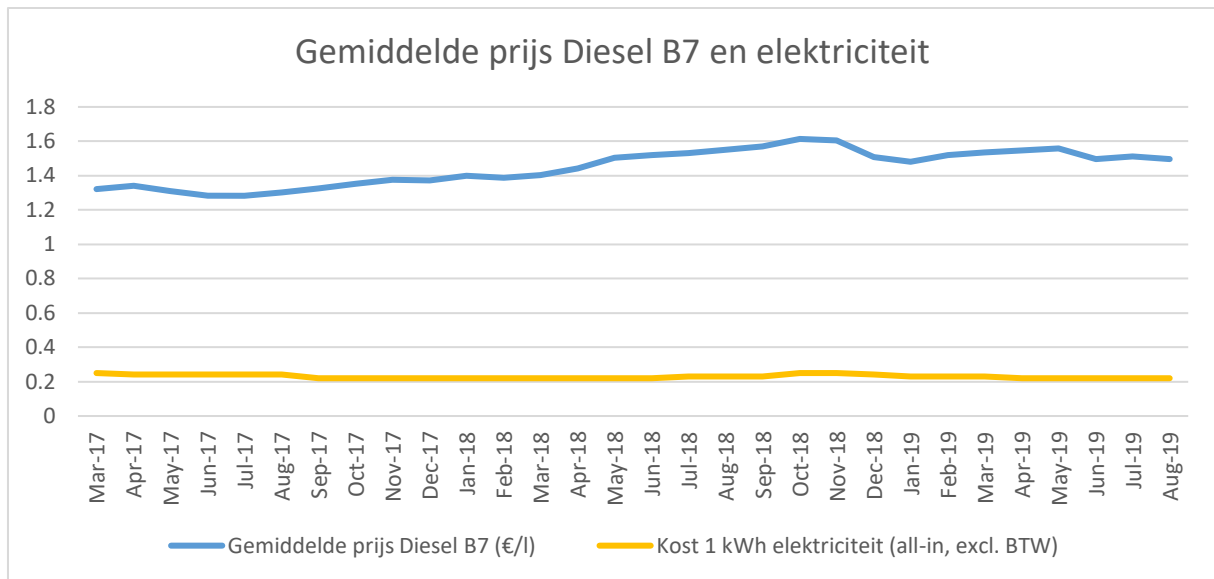
dat de evenwichtsprijs verhoogt. Een verhoging van deze evenwichtsprijs is positief voor de transporteur, maar negatief voor de afnemer van transportdiensten.



Figuur 4: Grafiek filezwaarte in Vlaanderen ("Filezwaarte," 2019)

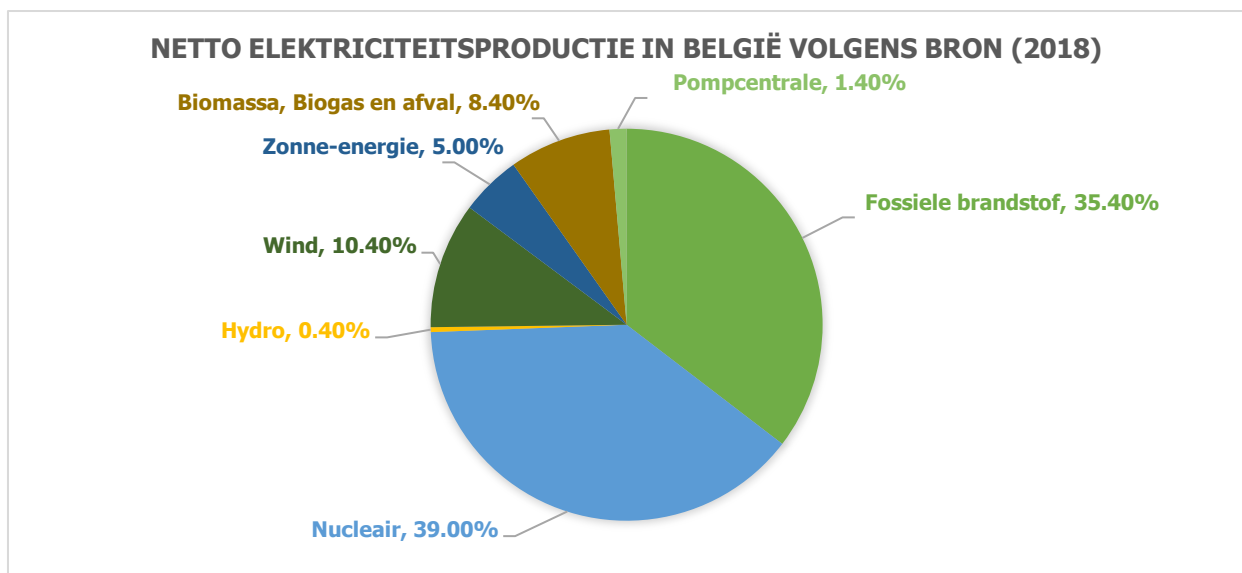
Een algemene stijging van transportkosten is niet wenselijk voor de economie. De duurzame alternatieven die in deze masterproef zullen worden onderzocht kunnen in positieve zin bijdragen tot de transportkosten. Een bedrijf kan gebruik maken van een langer en zwaarder voertuig (LZV). Dit is een vrachtwagen die langer is dan de standaard toelaat – veelal met twee of drie aanhangers – en die meer massa kan vervoeren. Een bedrijf dat hiervan gebruik maakt kan de loonkosten verdelen over meer goederen (Meers, van Lier, & Macharis, 2018). Een chauffeur zal door één rit meer goederen kunnen transporteren, met andere woorden er zijn minder chauffeurs nodig om dezelfde hoeveelheid goederen te verplaatsen. De premie voor de chauffeur voor het rijden met een LZV zal minder hoog zijn dan de toename in opbrengst door een hogere getransporteerde capaciteit. Tevens is uit onderzoek van De Ceuster et al. (2008) gebleken dat door het transporteren van goederen met een LZV, het brandstofverbruik daalt met 12,45% per tonkilometer. De bedrijven die in Duitsland aan een proefproject deelnamen, rapporteerden een gemiddelde daling van 30% in het brandstofverbruik (Sanchez Rodrigues, Piecyk, Mason, & Boenders, 2015). De daling in emissies blijkt uit onderzoek van Ortega, Vassallo, Guzmán en Pérez-Martínez (2014) niet zo hoog te zijn als de daling in het brandstofverbruik. De auteurs rapporteren een daling van 6,84% voor CO₂, 6,76% voor NO_x en 6,41% voor PM₁₀.

Als bedrijven elektrisch aangedreven trucks aan hun vloot toevoegen, kunnen er extra voordelen voor zowel de economie als de maatschappij zijn. De loonkosten voor de chauffeur zullen gelijk blijven omdat de arbeid voor de chauffeur die met een e-truck rijdt gelijk blijft. Het grootste voordeel voor de transportonderneming bestaat uit de daling van de kosten voor het aandrijven van de truck (Sen, Ercan, & Tatari, 2017). Daarnaast moet in de berekening van het totale voordeel rekening worden gehouden met de aanschaffingswaarde van de truck. Een e-truck zal duurder zijn in aanschaf dan een conventionele truck (Pelletier, Jabali, & Laporte, 2016). Tot slot zal een bedrijf rekening houden met de fluctuaties in de brandstofprijzen. Op Figuur 5 is te zien dat de prijs voor diesel sterker fluctueert dan de prijs voor elektriciteit en dat elektriciteit goedkoper is dan diesel.



Figuur 5: Gemiddeld officieel tarief van Diesel B7¹ en de kostprijs voor 1 kWh elektriciteit²

Naast de aandrijving – elektriciteit – van de e-truck zijn de emissies een belangrijk aspect voor de maatschappij. Het gebruik van e-trucks kan ertoe leiden dat de emissies teruggedrongen worden tot 0 (Kast, Vijayagopal, Gangloff, & Marcinkoski, 2017; Pelletier et al., 2016; Sen et al., 2017). Dit is een groot voordeel voor de maatschappij aangezien op dit moment 10% minder dan de helft van de emissies in Vlaanderen uit transport van goederenvervoer over de weg afkomstig is (De Coster, 2019a). Het grootste aandeel van broeikasgassen is volgens data van De Coster (2019a), de CO₂ uitstoot. Naast deze terugdringing van emissies moet bij e-trucks ook rekening gehouden worden met het feit dat de productie van batterijen (McManus, 2012) en de aanmaak van elektriciteit ook belastend is voor het milieu. In Figuur 6 is te zien dat in 2018 ongeveer 75% van de energieproductie in België van niet-hernieuwbare energiebronnen afkomstig was.



Figuur 6: Netto elektriciteitsproductie in België volgens bron (2018) (FEBEG, z.j.)

¹ (Statbel, 2019a)

² (VREG, z.j.)

Het voordeel van platooning ligt in de efficiëntieverbetering van het transport en heeft verschillende raakvlakken met de inzet van LZV's. Platooning is een vorm van vervoer waarbij een tweede of meer voertuigen het eerste voertuig volgen op basis van technologische interactie. In een ideale situatie is er slechts één bestuurder in het eerste voertuig en volgen de volgende voertuigen het eerste voertuig. Volgens de huidige van kracht zijnde Belgische wet moet elk voertuig een bestuurder hebben. Artikel 8.1 van het "Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg." 1975) (KB 01/12/1975) zegt: "Elk voertuig of elke sleep in beweging moet een bestuurder hebben."

Deze vorm van platooning, waarbij elk voertuig een chauffeur heeft, noemen Janssen, Zwijnenberg, Blankers en de Kruijff (2015) in hun artikel over de toekomst van platooning een *guarded platoon*. Zij omschrijven dit als een systeem waarin de eerste truck bestuurd wordt door een chauffeur en waarin de tweede truck volgt, maar waar nog wel een chauffeur achter het stuur zit voor de veiligheid. De best mogelijke situatie is een *single driver platoon*; een systeem met één bestuurder in het eerste voertuig en geen bestuurder in het tweede voertuig. Een eenvoudige berekening in Tabel 1 leert dat dit laatste systeem positieve economische gevolgen heeft, doordat de loonkost lager ligt dan bij het guarded platoon systeem en de vervoerde capaciteit hoger is dan bij een LZV. Het systeem is minder voordelig dan een LZV of e-truck wat betreft de emissie uitstoot.

	Guarded platoon (2 trailers 13,6m)	LZV (Trailer 13,6m + aanhanger 6,5m)
Volume	157 m ³	116 m ³
Laadmeter	27,2 ldm	20,1 ldm
Massa	64 ton	60 ton

Tabel 1: Vergelijking guarded platoon en LZV

1.1.1 Focus op wegtransport

Uit de voorgaande sectie blijkt dat in deze masterproef enkel duurzame concepten worden onderzocht die betrekking hebben op wegtransport. Dit komt doordat wegtransport de hoogste flexibiliteit kan bieden in vergelijking met reeds bestaande alternatieven, bijvoorbeeld intermodaal vervoer. Een vrachtwagen kan makkelijk van deur-tot-deur rijden en behoeft minder infrastructuur. Daarnaast kan een transport met een vrachtwagen sneller worden gestart, omdat er geen reservering nodig is van de wegen. De wegen staan altijd ter beschikking van het verkeer. In vergelijking met intermodaal vervoer moet er steeds een water- of spoorweg aanwezig zijn die op dat moment ook vrij is. Daarnaast is niet op elke locatie een terminal om de goederen van het schip of de trein over te laden op een vrachtwagen.

Daarom wordt in deze masterproef onderzocht hoe transport duurzaam kan verlopen met behoud van de voordelen van vrachtwagens.

1.2 Onderzoeksvraag

Vanuit economisch en maatschappelijk oogpunt is het wenselijk dat de transportsector in de toekomst duurzamer gaat werken. Dit kan op verschillende wijzen. In deze masterproef zal onderzocht worden op welke manier ecocombi's, e-trucks en platooning hierbij de transportsector kan ondersteunen.

Uit de probleemstelling blijkt dat er op dit moment nog verbeteringen mogelijk zijn om de duurzaamheid van de transportsector te verbeteren. De focus voor de maatschappij ligt voornamelijk op de verduurzaming van transport, daar waar de focus voor de economie en de economische actoren ligt in de verbetering van de efficiëntie van het vervoer. Transportbedrijven zijn steeds op zoek naar een methode om de loonkosten te laten dalen en de capaciteit te verhogen. Als de emissies verminderd kunnen worden, is er een win-winsituatie voor zowel de economie als de maatschappij. Vanuit het praktijkprobleem kan de centrale onderzoeksvraag worden afgeleid:

“Wat is de invloed van e-trucks, ecocombi’s en platooning op het huidige en toekomstige Vlaamse wegtransportlandschap?”

Om een gefundeerd antwoord te kunnen formuleren op deze vraag worden deelvragen opgesteld. Deze deelvragen zijn algemeen opgesteld en kunnen voor elke duurzame vorm van wegtransport apart beantwoord worden. Als beginpunt moet er worden gekeken naar het wettelijk kader van deze nieuwe transportvormen.

“Wat is het huidige wettelijk kader van e-trucks/ecocombi’s/platooning?”

Er moet niet enkel worden nagegaan welke specifieke wetgeving van toepassing is, maar er moet ook gekeken worden naar de decreten, Belgische wegcode en Europese verordeningen

Als een duurzame vorm is toegelaten volgens de wet, kan nagegaan worden in welke mate deze reeds geïmplementeerd is.

“Welke proefprojecten rond e-trucks/ecocombi’s/platooning hebben reeds plaatsgevonden?”

“Wat waren de uitkomsten van proefprojecten rond e-trucks/ecocombi’s/platooning?”

“Wat zijn de voor- en nadelen van e-trucks/ecocombi’s/platooning voor de economie en de maatschappij?”

“Welke bedreigingen zijn er voor/vormen e-trucks/ecocombi’s/platooning?”

“Wat maakt dat bedrijven e-trucks/ecocombi’s/platooning implementeren in hun vloot? Wat zijn de belemmeringen die andere bedrijven tegenhouden?”

Als het wettelijk niet is toegelaten om met een bepaalde transportvorm te rijden kan het zijn dat de wetgever dit nog niet voorzien heeft of omdat deze transportvorm nog in de ontwikkelingsfase is. Deze transportvorm kan dan op dit moment nog niet gebruikt worden, maar hij kan wel een oplossing bieden voor het probleem.

“Waarom heeft de wetgever e-trucks/ecocombi’s/platooning nog niet toegelaten?”

“Hoe is de situatie in andere (buur)landen?”

“Wat is nodig opdat de wetgever deze vormen goedkeurt en de transportvorm kan gebruikt worden in België?”

1.3 Methodologie

Om het onderzoek uit te voeren en een antwoord te kunnen formuleren op de centrale onderzoeksvraag zal worden gestart met een literatuurstudie. Doordat e-trucks, ecocombi’s en platooning nog relatief nieuwe concepten zijn binnen de transportsector, is er weinig

wetenschappelijke literatuur voorhanden. Daarom zal er ook gebruik gemaakt worden van krantenartikelen en artikelen uit vakliteratuur zoals bijvoorbeeld: Flows, Value Chain en Business Logistics. De gebruikte zoektermen zijn terug te vinden in Tabel 2.

E-trucks	Ecocombi's	Platooning
E-truck	Megatruck	Connected vehicles (CV)
Electric truck	Gigaliner	Platoon
Electric road	Ecocombi	Platooning
	LZV (nl), LHV (en)	Zelfrijdende trucks
	Longer Heavier Vehicles	Zelfrijdende vrachtwagen
	Langere en zwaardere voertuigen	Road-train

Tabel 2: Zoektermen voor literatuur

Na het literatuuronderzoek wordt een praktijktest uitgevoerd. Door middel van een interview kan worden nagegaan waarom een bedrijf ooit één van de alternatieven heeft opgenomen in zijn vloot. Er wordt onderzocht welke positieve en negatieve gevolgen het bedrijf heeft ervaren. Het is mogelijk dat er over de landsgrenzen heen moet gekeken worden naar een bedrijf dat reeds een methode heeft geïmplementeerd in zijn vloot omdat België op vele vlakken op dit moment nog in de experimentele fase zit.

2 E-trucks

Deze sectie onderzoekt aan de hand van een literatuurstudie de stand van zaken met betrekking tot e-trucks. Er wordt gestart met het formuleren van de definitie van een e-truck. Daarna wordt kort geschetst welke e-trucks er op dit moment bestaan. Vervolgens worden de factoren besproken die transportondernemingen kunnen tegenhouden om e-trucks op te nemen in hun vloot. Een mogelijke oorzaak kan de kleine actieradius zijn. In een volgende sectie zal worden gekeken welke literatuur bestaat over de planningsproblemen die specifiek zijn voor ritten met e-trucks. Ten slotte worden de voor- en nadelen voor de economie en maatschappij onderzocht om daarna af te sluiten met een besluit over e-trucks.

2.1 Definitie

Battery electric vehicles (BEV) zijn voertuigen die zich voortbewegen door de aandrijving van een electromotor en die enkel energie gebruiken van een *battery pack*, dat opgeladen wordt vanaf het elektriciteitsnet (Electrification Coalition, in Pelletier et al., 2016). In deze masterproef wordt de term e-truck gebruikt in plaats van battery electric vehicle.

Voor e-trucks zijn er verder weinig bronnen die een concrete definitie formuleren. In deze masterproef zullen e-trucks worden omschreven als voertuigen voor het vervoer van goederen die worden aangedreven door elektriciteit met behulp van batterijtechnologie en besturingssoftware. Dit zijn trucks die enerzijds elektrisch worden aangedreven en anderzijds soms een secundaire brandstof gebruiken voor de aandrijving, zoals bijvoorbeeld waterstof.

Onder de term e-trucks kunnen alle voertuigen, bestemd voor wegvervoer, vallen die worden aangedreven door elektriciteit. In deze masterproef wordt de focus gelegd op grotere e-trucks in de vorm van trekkers om de redenen beschreven in 1.1.

2.2 Stand van zaken

In deze sectie wordt eerst beschreven welk soort voertuigen er op dit moment al op de markt zijn. Daarna wordt onderzocht welke ontwikkelingen op til zijn.

2.2.1 Voertuigen reeds op de markt

De literatuur concludeert dat e-trucks meer geschikt zijn voor (stads)distributie dan voor ritten met een grotere afstand (Pelletier et al., 2016). Er zijn voorbeelden dat e-trucks zijn opgenomen in de vloot na het onderzoek van Pelletier et al. (2016). Citydepot – een bedrijf dat stadsdistributie doet in Antwerpen, Brussel, Charleroi, Gent, Hasselt en Luik – heeft in 2016 een 100% elektrische vrachtwagen (Figuur 7) in dienst genomen (Heinen, 2016). Later onderzoek van Liimatainen, van Vliet en Aplyn (2019) besluit dat het tegenwoordig mogelijk is om e-trucks op te nemen in de vloot.



Figuur 7: e-truck Citydepot (Heinen, 2016)

In België zijn enkele bedrijven die in de toekomst gebruik willen maken van e-trucks. In 2019 kondigde AB Inbev (ABI) de komst van de e-truck aan. ABI wil de e-truck in 2020 grootschalig gaan uitrollen (Struyck, 2019). Het bedrijf koopt tien e-trucks aan en wil deze gebruiken voor distributie in Europa (Figuur 8). De leverancier van deze voertuigen is MAN. Zij stellen het product voor als een voertuig zonder emissies, geluid en met een gelijke kracht als een conventionele truck (MAN Truck & Bus, 2019). Het voertuig zal een actieradius hebben van 165 km (Van Dooren, 2019).



Figuur 8: e-truck ABI (Mortelmans, 2019)

2.2.2 Ontwikkeling van e-trucks

In het verleden waren het voornamelijk e-trucks in de vorm van een vrachtwagen, zoals afgebeeld in Figuur 7, die werden aangekocht door bedrijven. De Amerikaanse producent Nikola heeft een samenwerking aangekondigd met IVECO voor de ontwikkeling van hun e-truck – de Nikola Tre (Piovaccari, 2019) – in de vorm van een trekker. Tijdens de aankondiging toonden de bedrijven een prototype (

Figuur 9). Het valt op dat dit voertuig sterk lijkt op de conventionele trucks die tegenwoordig in Europa rondrijden. De eerste levering staat gepland in 2021.



Figuur 9: Nikola Tre Prototype (Nikola Motor Company, 2019)

Een concurrent van Nikola, Tesla, heeft in 2017 de aankondiging al gedaan voor zijn e-truck – de Tesla Semi. De Belgische onderneming Sitra heeft reeds een Tesla Semi (Figuur 10) besteld (Van Dooren, 2018a). Het bedrijf schat dat ze de truck in 2021 in gebruik kunnen nemen.



Figuur 10: Tesla Semi voor Sitra (Van Dooren, 2018a)

Uit deze voorbeelden blijkt dat de e-truck tegenwoordig niet alleen wordt ingezet voor (stads)distributie, maar dat er tevens initiatieven zijn om een e-truck op de markt te brengen voor ritten met een langere afstand.

2.3 Beperkingen voor implementatie van e-trucks in de vloot

De onderzoeksgroep CALSTART E-truck Task Force (E-TTF) heeft in 2012 onderzoek verricht naar de belangrijkste factoren die implementatie van e-trucks belemmeren. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in Tabel 3.

2012 E-TTF Key Findings	
Kost	Grote (extra) kost op korte termijn, maar op lange termijn dalen de kosten. De auteurs stellen een subsidie voor die minstens 50% van de kost op korte termijn moet dragen.
Kwaliteit en ondersteuning	De kwaliteit, garantie en ondersteuning van de producenten moeten verbeterd worden.
Performance en business case	Transportbedrijven hebben nood aan voldoende data over e-trucks in reële situaties om hun beslissingen beter te kunnen sturen.
Infrastructuur	Bedrijven weten niet altijd hoe ze moeten omgaan met de verandering in infrastructuur.

Tabel 3: 2012 E-TTF key findings (Vertaald van Brotherton, Gilde, & Tomic, 2016)

Na het onderzoek uit 2012 werden de bevindingen geüpdatet in 2015 (Brotherton et al., 2016). Deze resultaten worden nu besproken.

Sectie gebaseerd op Brotherton et al. (2016)

Op basis van het onderzoek in 2015 namen de auteurs besluiten aangaande zes thema's. Deze thema's zijn productie, aanbieders, kosten, kwaliteit en ondersteuning, infrastructuur en weersomstandigheden. In het eerste thema – **productie** – merken de auteurs een daling van het aantal bestellingen en de totale productie op. De grotere spelers op de markt verlaten de niche van e-trucks. Aan de andere kant komen er nieuwe kleinere spelers op de markt. De auteurs verklaren het hoog aantal bestellingen in 2011 door de start van een subsidieprogramma in Californië in de Verenigde Staten. Nadien zijn het aantal bestellingen afgenomen. In het tweede thema – **aanbieders** – nemen de auteurs waar dat de eerste producenten van e-trucks inmiddels de markt hebben verlaten. Zij hadden te weinig financiële ruimte om de extra investeringen te kunnen betalen. Het onderzoek beschrijft de situatie van een aantal producenten in de Verenigde Staten. Na het verdwijnen van de eerste grote producenten, zijn een aantal kleinere producenten ontstaan. De **kosten** kwamen in het onderzoek in 2012 reeds aan bod. Dit onderzoek stelde dat de grote (extra) kost bij de introductie een barrière was om e-trucks op te nemen in de vloot van bedrijven. Uit een enquête met 200 respondenten bleek dat toen 38% van de respondenten, de helft van de extra kost van de investering in vergelijking met conventionele trucks, wilden vergoed zien door middel van een subsidie. Het onderzoek besloot tevens dat de prijzen konden dalen door meer bestellingen. Een stijgend aantal bestellingen bleef echter uit. Andere kosten, zoals onverwachte onderhoudskosten, blijven erg hoog. Een oplossing voor deze hoge kosten kan, volgens de auteurs, batterijleasing zijn. De klanten van e-trucks hekelen de **kwaliteit en** het gebrek aan **service** na de aankoop – het vierde thema. Er zijn volgens hen te weinig plaatsen waar ze terecht kunnen voor onderhoud of herstelling. De producenten moeten zorgen voor een uitgebreid netwerk van diensten na verkoop. Dit kan ertoe leiden dat het vertrouwen verhoogt en het aantal verkochte e-trucks zal stijgen. Volgens het onderzoek zijn transportondernemingen niet altijd op de hoogte van de mogelijke extra investeringen in **infrastructuur** die ze zullen moeten doen. De laadpunten hebben meestal extra energiec capaciteit nodig om te kunnen functioneren. De overheid zou moeten investeren in publieke laadpunten die de

hoeveelheid stroom kunnen verwerken en in een systeem dat de prijsschommelingen, door de vraagschokken, kan opvangen. Tot slot wordt onderzocht welke invloed de weersomstandigheden hebben op e-trucks. Koude temperaturen hebben een negatieve invloed op de prestaties van de e-truck. Het is moeilijker om de cabine te verwarmen en de actieradius verkleint. Dit komt doordat de Lithium-Ion batterijen minder goede prestaties kunnen leveren bij koude temperaturen. Als oplossing wordt geboden om de cabine beter te isoleren en bij de batterijen gebruik te maken van een *battery pack thermal management system*. Dit is ook volgens recenter onderzoek van Lyu et al. (2019) nodig omdat de temperatuur van de batterij een belangrijk element is voor een goede operationele werking van het voertuig. Battery pack thermal management systems dragen bij tot een goede gezondheid van de batterij en verlengen de levensduur (Lyu et al., 2019).

Onderzoek van Pelletier et al. (2016) kwam tot gelijkaardige besluiten. Dit onderzoek besloot dat de opname van e-trucks in de vloot zal afhangen van een aantal factoren, zoals kosten, technologie, infrastructuur, beschikbaar elektriciteitsvolume en financiële stimulansen.

2.4 Planningsproblemen

Als een transportonderneming een routeplanning wil maken, dient zij rekening te houden met het rijbereik van de vrachtwagens. Nu kan een vrachtwagen snel en eenvoudig brandstof – diesel – tanken bij een tankstation. Als men rijdt met een e-truck kan dit bemoeilijkt worden door de langere oplaadtijd van de batterij.

Het eerste onderzoek naar de planningsproblemen bij BEV's werd uitgevoerd door Erdoğan en Miller-Hooks (2012). Hun model – *Green VRP (GVRP)* – heeft als doel om de afgelegde afstand, gegeven de beperkte actieradius en de locaties van de laadstations, te minimaliseren (Pelletier et al., 2016). Dit onderzoek wordt verder besproken in sectie 2.4.1. Twee jaar later is het GVRP uitgebreid door Schneider, Stenger en Goeke (2014) naar het *Electric VRP with Time Windows (E-VRPTW)*. Deze auteurs voegden de openingstijden van de klant en capaciteitsbeperking toe aan het GVRP (Pelletier et al., 2016). Dit model wordt besproken in sectie 2.4.2.

Er werden in de periode 2012 – 2015 meerdere uitbreidingen ontwikkeld op het GVRP. In deze masterproef komen enkel het basisonderzoek – GVRP – en de uitbreiding E-VRPTW aan bod. De keuze voor het E-VRPTW wordt gemaakt, omdat dit model een aantal dagdagelijkse en praktische beperkingen in acht neemt waarmee een transporteur te maken krijgt (Schneider et al., 2014).

2.4.1 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)

Sectie gebaseerd op onderzoek van Erdoğan en Miller-Hooks (2012).

Het GVRP wordt aangenomen als basismodel voor planningsproblemen met e-trucks. Dit model gaat uit dat een truck vertrekt en aankomt bij het depot en dat tijdens de rit alle klanten worden bezocht, laadpunten inbegrepen, zodat de totale afstand van de route minimaal wordt. Daarnaast probeert het GVRP het risico op zonder elektriciteit vallen te minimaliseren.

De belangrijkste beperkingen aan het model zijn het aantal bezoeken. Zo moet het depot bezocht worden bij de start en het einde van de rit. De klanten moeten één keer bezocht worden tijdens de rit en de laadpunten mogen onbeperkt bezocht worden tijdens de rit. Het depot kan gebruikt worden als laadpunt. Dit model heeft als doel om een route te bepalen, waarbij de gereden afstand – dij –

geminimaliseerd wordt, gegeven het feit of de *arc* (i,j) gereden wordt. Deze laatste variabele is een binaire variabele.

$$\text{Min } Z = \sum d_{ij}x_{ij}$$

De auteurs besluiten het onderzoek door te stellen dat het GVRP zowel exact als met een heuristiek kan opgelost worden. De oplossing die bekomen wordt door middel van een heuristiek benadert de exacte oplossing, waardoor de heuristiek ook gebruikt kan worden in het oplossen van grotere problemen. Met het model en de oplossingsmethode kunnen gebruikers van e-trucks beter de impact op hun operationele kosten inschatten.

2.4.2 *Electric VRP with Time Windows (E-VRPTW)*

Sectie gebaseerd op onderzoek van Schneider et al. (2014).

Het onderzoek van Schneider et al. (2014) wil een uitbreiding ontwikkelen op het GVRP. In het GVRP model was er een oneindige capaciteit en werd er geen rekening gehouden met de tijdsvensters voor de bediening van de klanten (Pelletier et al., 2016; Schneider et al., 2014). Dit model gebruikt dezelfde doelfunctie als het GVRP. De beperkingen voor het model zijn verschillend.

Daarnaast zijn er een aantal beperkingen aan het model. Deze beperkingen gaan over het al dan niet bezoeken van een klant of laadstation, het verplicht bezoeken van elke klant tijdens het tijdsvenster, de tijd die nodig is om op te laden en de batterij die nooit leeg mag zijn.

Schneider et al. (2014) besluiten dat hun methode in staat is om een optimale route te maken voor bestaande situaties die afhangen van de te bedienen klanten en de capaciteit van het voertuig en de batterij. De auteurs concluderen dat hun onderzoek een eerste aanzet heeft gegeven in het efficiënt opstellen van een routeplanning voor e-trucks. Doordat routes met e-trucks efficiënt kunnen worden opgesteld, zal de competitiviteit van e-trucks verhogen – de bedrijven zullen meer geneigd zijn om e-trucks op te nemen in hun vloot.

2.5 Voor- en nadelen voor economie en maatschappij

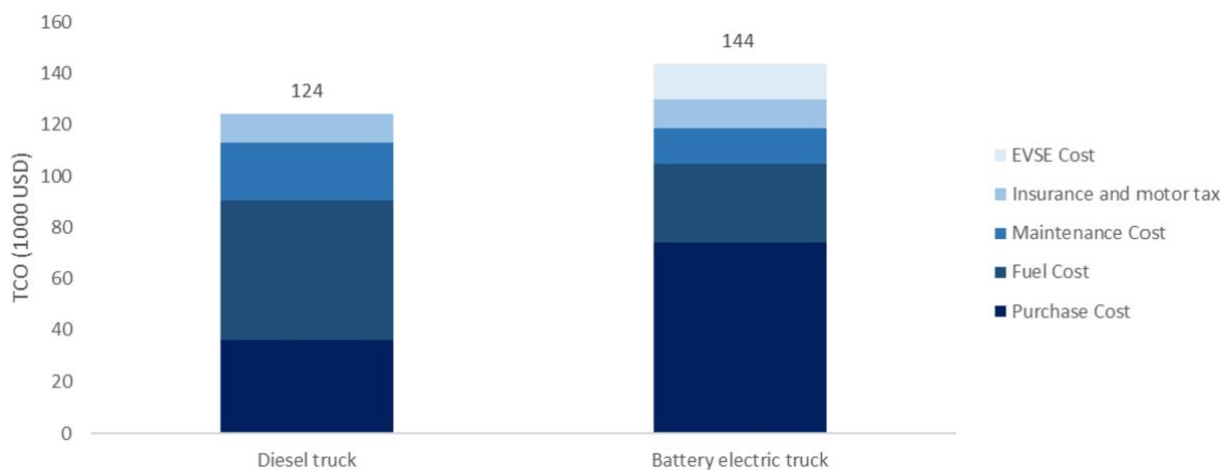
Er bestaat nog geen literatuur die de voor- en nadelen van e-trucks heeft onderzocht. Wel zijn er verschillende wetenschappelijke artikels die bepaalde thema's rond e-trucks hebben onderzocht waaruit voor- of nadelen kunnen worden uit afgeleid. Deze sectie probeert uit een geheel van wetenschappelijke literatuur een overzicht te vormen van de bestudeerde voor-en nadelen. Deze zijn op te delen in drie blokken: kosten, milieu en actieradius en oplaadtijd.

2.5.1 *Kosten*

Kosten zijn een belangrijk aspect dat bedrijven in overweging nemen tijdens de beslissing om al dan niet e-trucks op te nemen in hun vloot. Tanco, Cat en Garat (2019) deden onderzoek naar het break-even punt voor e-trucks in Latijns Amerika. Daarvoor was de *total cost of ownership (TCO)* een belangrijk onderdeel van hun onderzoek. De auteurs definiëren dit als volgt

$$TCO = \text{Aankoopprijs} + \text{EVSE kost} + \sum_{i=n}^{n+10} \frac{\text{Cost of ownership}}{(1+r)^{i-n}} + \text{Verkoopprijs}_{n+10}$$

Hierbij is de EVSE kost de kost voor *electric vehicle supply equipment*; de kost die gelinkt is aan de speciale uitrusting van elektrische voertuigen, zoals batterijen en laadinfrastructuur. Tanco et al. (2019) hebben een berekening gemaakt van de TCO voor een dieseltruck en een e-truck die vergelijkbaar zijn (Figuur 11). Zij komen tot de conclusie dat 59% van de TCO bij een e-truck wordt besteed aan de aanschaf en de EVSE cost, terwijl dit bij het dieselveertuig slechts 29% is. Anderzijds zijn de operationele kosten – diesel of elektriciteit, onderhoud, verzekering en wegbelasting – bij e-trucks slechts 29% van de TCO, daar waar deze bij dieselvrachtwagens 62% van de TCO beslaan. Dit zijn andere resultaten dan uit het onderzoek van Feng en Figliozzi (2013). De auteurs hebben uit hun onderzoek afgeleid dat de kost voor brandstof bij e-trucks vier keer lager ligt dan bij conventionele trucks, maar dat de aankoopprijs drie keer duurder is (Feng & Figliozzi, 2013). Als de percentages van Tanco et al. (2019) omgezet worden naar absolute getallen, blijkt dat de operationele kosten 1,82 keer duurder zijn voor conventionele trucks dan bij e-trucks en dat de aanschaf ruim 2,3 keer duurder is bij e-trucks dan bij conventionele trucks. Het gegeven dat de operationele kosten vaak lager liggen bij e-trucks dan bij conventionele trucks is mogelijk te wijten aan het lagere energiegebruik van een e-truck (Lee, Thomas, & Brown, 2013) en lagere onderhoudskosten doordat gebruik wordt gemaakt van een elektromotor (Feng & Figliozzi, 2013; Tanco et al., 2019). Uit de grafiek van het onderzoek van Tanco et al. (2019) blijkt dat de totale TCO voor e-trucks 16,13% hoger ligt dan de totale TCO voor dieselvrachtwagens.



Figuur 11: Total costs of ownership voor een medium duty truck (Overgenomen van Tanco et al., 2019)

Lee et al. (2013) besluiten op basis van een verschillenanalyse dat er geen verschil is tussen de TCO van e-trucks en conventionele trucks. Dit is eerder een opmerkelijk besluit, omdat verschillende wetenschappelijke bronnen dit tegenspreken. Ook het Belgische bedrijf Sitra, dat een Tesla Semi aankocht, gaf in een interview bij Van Dooren (2018a) aan dat ze voor de e-truck ±€170.000 euro moet betalen. Dit komt neer op een aankoopprijs die het dubbel is dan een conventionele truck.

De overheid is zich er van bewust dat e-trucks een hoge kost zijn voor transportbedrijven. Om de bedrijven te steunen heeft de Vlaamse overheid besloten om het subsidieprogramma voor ecologisch en veilig transport door te zetten in 2020 (Vlaamse Overheid, z.j.). De ondernemingen die minstens één voertuig hebben voor vervoer over de weg en met zetel in het Vlaamse gewest komen in aanmerking voor deze subsidie (Vlaamse Overheid, z.j.). Het bedrag van de subsidie wordt beperkt tot maximaal €100.000 per onderneming en maximaal €5.000 per voertuig (Vlaamse Overheid, z.j.).

2.5.1.1 Competitiviteit van e-trucks: een kostenanalyse

Sectie gebaseerd op onderzoek van (Feng & Figliozzi, 2013)

De auteurs hebben een model opgesteld dat als doel heeft om de kosten, verbonden aan het gebruik van de e-truck, te minimaliseren. In dit model wordt rekening gehouden met de aankoop-, energie-, onderhouds-, en emissiekosten, alsook met de opbrengsten bij verkoop van trucks. Het model wil de doelfunctie Z minimaliseren, rekening houdend met een percentage - dr - om de kosten te verdisconteren. Hierdoor houdt het model rekening met de waarde van geld doorheen de tijd.

$$Z = \sum_{j=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K v_k \cdot P_{jk} \cdot (1 + dr)^{-j} - \sum_{i=1}^{A_k} \sum_{j=0}^T \sum_{k=1}^K s_{ik} \cdot Y_{ijk} \cdot (1 + dr)^{-j} + \sum_{i=0}^{A_k-1} \sum_{j=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K (o_{ijk} + m_{ik} + e_{ik}) \cdot u_{ik} X_{ijk} \cdot (1 - dr)^{-j}$$

De elementen aangeduid in **geel** geven de totale aankoopkosten weer van nieuwe trucks over de periode K. Het volgende deel van de vergelijking met de delen aangeduid in **groen** geven de totale opbrengsten weer van de verkoop van een truck bij einde levensduur. Een derde element, aangeduid in **rood**, geeft de totale kost per mijl voor brandstof, onderhoud en congestie weer. Deze kost wordt vermenigvuldigd met de totale afgelegde afstand van het totaal aantal trucks. De totaal afgelegde afstand van het totaal aantal trucks wordt aangeduid in **grijs**.

Feng en Figliozzi (2013) leggen een aantal beperkingen aan het model op. Ten eerste mogen de aankoopkosten het totale budget niet overschrijden. Ten tweede moet de afgelegde afstand overeenkomen met de totale vraag. Ten derde zijn er een aantal beperkingen voor de aankoop en het gebruik van nieuwe trucks. Ten vierde worden gebruikte trucks in jaar T verder gebruikt in jaar T+1 of verkocht in jaar T+1. De trucks worden verkocht in het laatste jaar van hun gepland gebruik of als een truck de maximale leeftijd bereikt. Tot slot kan een nieuwe truck niet meteen verkocht worden.

De auteurs maken een berekening voor een aantal scenarios waarbij trucks een laag, middel of hoog gebruik hebben per jaar. Een overzicht van de definitie voor laag, middel en hoog wordt gegeven in Tabel 4.

Scenario	Mijl/truck/jaar	Kilometer/truck/jaar
Laag	12.000	19.312
Middel	16.000	25.750
Hoog	20.000	32.187

Tabel 4: Definitie voor laag, middel en hoog (Feng & Figliozzi, 2013)

Uit de berekeningen besluiten de auteurs dat e-trucks competitief worden bij een hoog gebruik. Een prijsdaling voor de aankoop van e-trucks met 9% - 27% heeft een grote invloed op de competitiviteit voor e-trucks die een laag gebruik per jaar hebben. Dit onderzoek werd gebaseerd op gegevens van de Amerikaanse markt. De auteurs stellen voor om het onderzoek ook uit te voeren in Europa, omdat in Europa andere prijzen zijn voor trucks en diesel dan in de Verenigde Staten.

2.5.2 Milieu

Bij reclames over elektrische voertuigen wordt het milieuaspect vaak opgenomen om klanten te overtuigen om een elektrisch voertuig te kopen. Een belangrijk voordeel van elektrische voertuigen en e-trucks is dat er een daling is van de emissies. Lee et al. (2013) besluiten op basis van een case

uit 2011 – 2012 dat e-trucks 38% minder emissies uitstoten. Recent onderzoek van Plötz, Gnann, Jochem, Yilmaz en Kaschub (2019) besluit dat de CO₂, afkomstig van transport, zal dalen door de introductie van e-trucks. De auteurs waarschuwen wel dat er extra CO₂ uitstoot zal zijn door meer productie van elektriciteit. Zelfs bij een pessimistisch scenario zal de totale CO₂ reductie positief blijven (Plötz et al., 2019).

Een belangrijke factor die in rekening moet worden genomen is de impact van batterijen op het milieu. McManus (2012) besluit dat batterijen noodzakelijk zijn voor de toekomst van hernieuwbare energie en verwacht dan ook een toename in het gebruik van batterijen. Het onderzoek kwam tot de conclusie dat de productie van lithium-ion batterijen, het type batterijen die tegenwoordig zeer vaak gebruikt worden, de grootste impact hebben op emissies en de schaarsheid van metalen. Dit is de reden waarom transportondernemingen de externe kosten moeten opnemen in de totale kostenberekening.

Naast emissies is geluid een andere externaliteit van verkeer en voertuigen (Dekker, Bloemhof, & Mallidis, 2012; Feng & Figliozzi, 2013). Een voordeel van e-trucks is dat deze veel minder geluid hebben tijdens het gebruik, hetgeen beter is voor de omgeving in stedelijke gebieden (Pelletier et al., 2016).

2.5.3 Actieradius

Na de introductie van de eerste e-trucks, was de actieradius zeer kort (Schneider et al., 2014). Lee et al. (2013) deed voorafgaand aan hun onderzoek een analyse van de basiskarakteristieken van e-trucks. Zij besloten op basis van 219 e-trucks dat de gemiddelde actieradius 160 km is. Nesterova, Quak, Balm, Roche-Cerasi en Tretvik (2013) besloten dat de actieradius tussen 100 – 150 km ligt. Toch moeten deze resultaten niet als absoluut beschouwd worden. De actieradius hangt sterk af van externe factoren – temperatuur en rijstijl – en de soort ritten die worden uitgevoerd (Pelletier et al., 2016). Ritten met veel stop-en-go bewegingen zullen een hogere actieradius hebben door het hergebruik van de energie die vrijkomt tijdens het remmen (Pelletier et al., 2016).

De e-trucks die in sectie 2.2 werden besproken, de Nikola Tre en de Tesla Semi, hebben een respectievelijke actieradius 966 km (Piovaccari, 2019) en 483 – 804 km (Tesla, z.j.; van de Weijer, 2017). Het is niet duidelijk of deze actieradius al dan niet werd berekend op basis van een volgeladen trailer. Als deze actieradius effectief bereikt kan worden, zouden mogelijk een groot aantal conventionele trucks kunnen worden vervangen door e-trucks. Figuur 12 toont een kaart van Europa met een straal van 966 km rond Brussel. Uit dit figuur blijkt dat Belgische transporteurs in de toekomst een groot deel van Europa zouden kunnen bedienen met een e-truck.



Figuur 12: Kaart Europa - 966 km vanaf Brussel

2.6 Besluit

E-trucks zijn op dit moment nog weinig wetenschappelijk onderzocht. De literatuur die beschikbaar is, focust vaak op andere markten dan de Europese markt. Er zijn een aantal bedrijven die het initiatief nemen om e-trucks op de markt te brengen. Toch blijven er een aantal beperkingen bestaan. Onderzoek van Brotherton et al. (2016) maakt een overzicht van de factoren die transportbedrijven weerhouden om e-trucks op te nemen in hun vloot. De belangrijkste reden is mogelijk de hoge kost die verbonden is aan de aankoop van e-trucks en de slechte infrastructuur die nu bestaat. In de toekomst kunnen meer laadpunten uitgerold worden, maar die zullen niet geplaatst worden alvorens de eerste e-truck trekkers op de markt komen. De verwachting is dat de eerste e-trucks in 2021 op de markt zullen komen.

In deze sectie werden twee soorten planningsproblemen onderzocht. Het basismodel van Erdoğan en Miller-Hooks (2012) wil een doelfunctie minimaliseren. Deze doelfunctie hangt af van de aankoopkosten, de opbrengst bij verkoop aan het einde van de gebruiksduur en de operationele kosten, zoals brandstof, onderhoud, verzekering en belastingen. Later werd dit model uitgebreid door Schneider et al. (2014). In dit model werd rekening gehouden met realistische beperkingen, zoals openingstijden van de klanten en de maximale capaciteit van een voertuig.

3 Ecocombi's

In deze sectie wordt het gebruik van ecocombi's, hierna LZV's genoemd, onderzocht. Ter inleiding wordt een definitie geformuleerd aan de hand van literatuur en wetgeving. Daarna wordt onderzocht wat het huidige wettelijke kader is rond LZV's en welke oplossingen LZV's kunnen bieden aan de transportsector. Ten slotte volgen de resultaten van het interview met een LZV-gebruiker en de conclusie over het gebruik van ecocombi's in Vlaanderen.

3.1 Definitie en concepten

Voor de definitie van een LZV zijn meerdere bronnen het met elkaar eens. De Belgische wet heeft het over: "een sleep, die wegens zijn samenstelling de grenzen inzake massa of afmetingen overschrijdt" ("*Koninklijk besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten.*," 2012, p. 1), daar waar de Nederlandse wetgeving het heeft over:

Samenstellen met een laadlengte van tenminste 18 meter en ten hoogste 21,82 m, ..., bestaande uit ten hoogste drie voertuigen en ingericht voor het vervoer van goederen waarvan de totale lengte niet meer bedraagt dan 25,25 meter en de totale massa niet meer dan 60 ton, en waarvoor een ontheffing ... is afgegeven. ("Beleidsregel keuring en ontheffingverlening LZV," 2012, p. 1)

Ook wetenschappelijke literatuur heeft het over voertuigen met een maximale lengte van 25,25 meter en een maximale massa van 60 ton. (Brijs, Dreesen, & Daniels, 2008; Cornu, Brijs, Daniels, Brijs, & Wets, 2015). Figuur 13 toont het verschil tussen een LZV en een conventionele truck. Een conventionele truck mag maximaal 18,75 meter lang zijn en mag maximaal 44 ton wegen (Art. 32bis, "Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de technische eisen waaraan de auto's, hun aanhangwagens en hun veiligheidstoebehoren moeten voldoen.," 2010).



Figuur 13: LZV vs. conventionele truck

Zowel de wetgeving als de literatuur zijn het eens dat de definitie van een LZV bestaat uit twee aspecten: enerzijds de maximale lengte en anderzijds de maximaal toegelaten massa. In België wordt de standaard voor een LZV gelegd op een lengte van maximaal 25,25 meter en een massa van maximaal 60 ton. Deze standaard is geformaliseerd in artikel 5 van het Koninklijk besluit

³ (Direction de la Réglementation de la Sécurité routière, 2018)

⁴ (Value Chain, 2019)

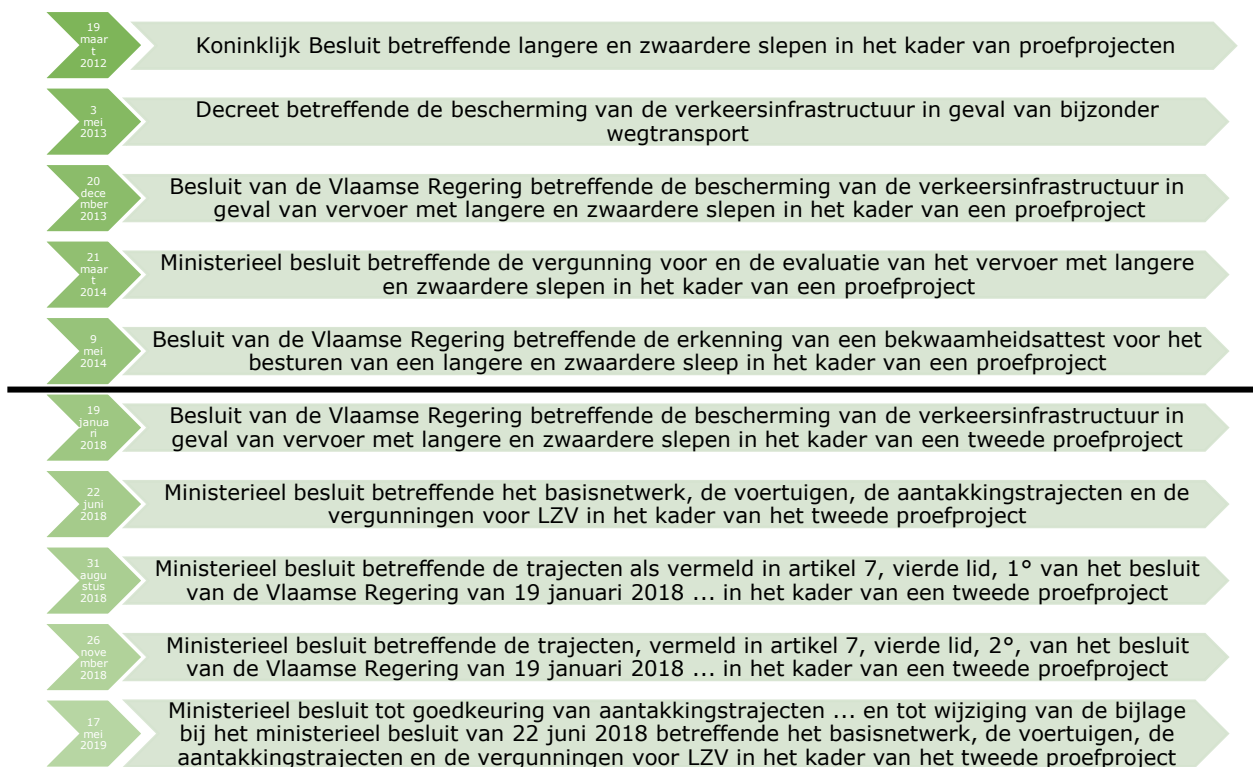
betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten uit 2012. In dit Koninklijk besluit (KB) beperkt de wetgever het aantal voertuigcombinaties. Bijlage 1 geeft een overzicht van de mogelijke combinaties. Een aantal voertuigcombinaties maakt gebruik van een *dolly* (Figuur 14). Dit is een aanhanger waarop een koppelschotel werd gemonteerd zodat de vrachtwagen een extra trailer kan slepen.



Figuur 14: Dolly ("Dolly Truck [Foto]," z.j.)

3.2 Wettelijk kader

In België is het gebruik van een LZV nog niet wettelijk toegelaten. Wel heeft de federale wetgever in 2012 een nieuw KB uitgevaardigd zodat de gewesten, op basis van hun bevoegdheden in artikel 6 van de bijzondere wet van 8 augustus 1980 tot hervorming der instellingen, hun regelgeving konden aanpassen en proefprojecten konden starten. Figuur 15 toont een chronologisch overzicht van de federale en Vlaamse wetgeving inzake LZV's.



Figuur 15: Chronologisch overzicht wetgeving

3.2.1 Koninklijk Besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten

Dit KB biedt een oplossing voor de restricties op de voertuigeisen die het "Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de technische eisen waaraan de auto's, hun aanhangwagens en hun veiligheidstoebehoren moeten voldoen" oplegt. Dit laatste KB stelt dat een voertuig niet langer mag zijn dan 18,75 meter en dat de massa 32 ton niet mag overschrijden. Het Koninklijk Besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten laat toe dat LZV's een lengte in beslag nemen van 25,25 meter met een maximale massa van 60 ton in het kader van proefprojecten. Dit zijn de twee aspecten die ook terugkomen in de definitie.

Naast deze belangrijke uitzondering op de standaardregels, hanteert dit KB een bepaalde standaard voor LZV's. Daarom moet er een vergunning zijn afgegeven aan de bedrijven die met een LZV willen rijden. Deze vergunning is twee jaar geldig en kan vernieuwd worden. De chauffeur die met een LZV wil rijden moet minstens vijf jaar een geldig rijbewijs hebben en moet een speciale opleiding gevolgd hebben in het kader van rijden met een langer en zwaarder voertuig. Hiervoor heeft de Vlaamse regering op 9 mei 2014 een besluit ingediend dat de Nederlandse opleiding van het Centraal Bureau voor Rijbewijzen (CBR) erkent als bekwaamheidsattest voor het besturen van een LZV ("Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de erkenning van een bekwaamheidsattest voor het besturen van een langere en zwaardere sleep in het kader van een proefproject," 2014). Dit is omdat er in Vlaanderen geen erkende opleidingen aangeboden worden.

Het KB stelt een aantal technische eisen aan de voertuigen. Ten eerste moet de motor minimaal Euronorm V hebben. Dit werd door de Vlaamse regering uitgebreid naar de meest recente Euronorm VI (Art. 6, "Ministerieel besluit betreffende het basisnetwerk, de voertuigen, de aantakkingstrajecten en de vergunningen voor LZV in het kader van een tweede proefproject," 2018). Ten tweede moet de bestuurder links in de cabine plaatsnemen. Ten derde moeten er markeringen worden aangebracht in de vorm van "LET OP: 25,25 meter". Ten slotte zijn er in België slechts zes mogelijke voertuigsamenstellingen toegelaten. Deze voertuigsamenstellingen zijn weergegeven in bijlage 1. De LZV mag niet alle soorten goederen vervoeren. Zo zijn gevaarlijke goederen en vloeistoffen verboden en mogen er geen levende dieren worden vervoerd in een LZV (Bijlage § 7, "Koninklijk besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten.," 2012). De Vlaamse regering heeft dit nog verder uitgebreid met het vervoer van tanks die geschikt zijn voor het vervoer van meer dan 1000 liter, het vervoer van containers van 45 voet en het vervoer van een lading met uitstekende delen (Art. 4, "Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een tweede proefproject," 2018) en goederen die vervoerd worden via spoor of binnenvaart (Art. 3, 5°, "Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject," 2013).

Op 28 februari 2018 is het Koninklijk Besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten buiten werking getreden (Art. 9, "Koninklijk besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten.," 2012) en moet men zich verder baseren op Vlaamse wetgeving.

3.2.2 Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject (BVR 20/12/2013)

Naast de aanvullingen, dat dit besluit van de Vlaamse Regering (BVR) maakt op het KB, bepaalt dit BVR ook nog de minimumeisen voor de goedkeuring van de trajecten en de toetsingscriteria voor de goedkeuring van een nieuw traject.

Het BVR beperkt het aantal voertuigcombinaties dat door het KB werd toegelaten op Belgische wegen. Van de zes toegelaten voertuigcombinaties mogen er slechts vier rijden op de Vlaamse wegen (Bijlage 2). De vrachtwagen + aanhangwagen en de vrachtwagen + oplegpunt + oplegger worden niet toegelaten op de Vlaamse wegen (Figuur 16). Hier is in de literatuur geen verklaring voor terug te vinden.

Vrachtwagen + aanhangwagen



Vrachtwagen + oplegpunt + oplegger



Figuur 16: Voertuigcombinaties niet toegelaten in Vlaanderen

De trajecten die een LZV kan rijden worden toegelaten in hoofdstuk 3 van het BVR. Een rit kan enkel plaatsvinden op de hoofdwegen – dit zijn de snelwegen en enkele wegen in de havens – en op de bedieningstrajecten om een bepaalde locatie te kunnen bereiken. De bedieningstrajecten kunnen door vervoerders ter goedkeuring worden ingediend bij het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW). Dit departement keurt de trajecten goed volgens de minimale eisen die het BVR stelt. De minimale eisen zijn volgens artikel 7 van het BVR 20/12/2013:

- De afstand tot het hoofdtraject is maximaal 10 kilometer.
- De aansluiting op het hoofdtraject heeft een invoegstrook die minimaal 3 meter breed en 250 meter lang is.
- De rit verloopt niet door de bebouwde kom, een zone 30 (schoolomgeving), erf of voetgangerszone.
- De rit verloopt niet langs een gelijkgrondse spoorwegovergang waar het treinverkeer sneller dan 40 km per uur rijdt.
- Op het traject is er maximaal over een cumulatieve afstand van 20% geen fietsvoorziening aanwezig.

Om deze minimale eisen te beoordelen houdt het Departement rekening met de toetsingscriteria uiteengezet in artikel 8 van het BVR. Er moet rekening gehouden worden met:

- het aantal kruispunten;
- de afmetingen van de kruispunten en de rotondes;
- de draagkracht van de kunstwerken;
- de aanwezigheid ... van de voorzieningen tot bescherming van de zwakke weggebruiker;
- de afwezigheid ... van een binnen het project ... objectief vastgesteld gevaarlijk punt of gevaarlijk wegvak ...;
- de objectief vastgestelde verkeersonveiligheid op basis van ... gelocaliseerde ongevalsgegevens

Uit deze twee wetsartikelen blijkt dat de Vlaamse wetgever heeft gepoogd om een balans te vinden tussen het toelaten van LZV's en de verkeersveiligheid voor andere weggebruikers en zwakke weggebruikers. Verkeersveiligheid was vanaf het begin een belangrijke voorwaarde, wat blijkt uit het eerste voorstel van resolutie van De Ridder et al. (2007) en de onderzoeken die vooraf gingen aan het proefproject van Brijs et al. (2008).

Dit BVR is opgeheven met het nieuwe BVR in het kader van het tweede proefproject ("Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een tweede proefproject," 2018).

3.2.3 Ministerieel besluit (MB) betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject

De regelgeving van 2014 en vroeger maakte een aanvraag voor vergunning voor een LZV erg complex. Ondernemingen die wensten deel te nemen moesten een aanvraag indienen met volgende gegevens:

- identificatiegegevens van de aanvrager;
- identificatiegegevens van het voertuig;
- identificatiegegevens van elke chauffeur;
- gegevens over het rijbewijs van elke chauffeur;
- een beschrijving van de vervoerde goederen;
- een verklaring dat de goederen niet per spoor of binnenschip werden vervoerd.

Een vergunning was bedoeld voor één bedrijf, met één bepaald voertuig op één bepaald traject. Dat blijkt uit de omvang van dit MB en uit de beleidsbrief van minister Weyts (2017) waarin hij aanhaalt dat het tweede proefproject een eenvoudiger procedure zal krijgen voor de aanvraag van een vergunning.

3.2.4 Ministerieel besluit betreffende het basisnetwerk, de voertuigen, de aantakkingstrajecten en de vergunningen voor LZV in het kader van een tweede proefproject

Dit Ministerieel besluit (MB) herhaalt de voorwaarden waar de chauffeur en het voertuig aan moeten voldoen. Verder stelt dit MB de procedure vast voor de aanvraag van nieuwe trajecten en voor de vergunning om te mogen rijden met een LZV tijdens het tweede proefproject.

Elke onderneming kan een aanvraag voor een nieuw traject indienen bij het Agentschap Wegen en Verkeer. Een nieuwe vergunning kan aangevraagd worden via het LZV-portaal

(<https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/>) en moet de gegevens van de aanvrager, de reisweg van het vertrekpunt naar het basisnetwerk en vice versa en de score die het sjabloon voor de aanvraag heeft berekend bevatten (Art. 10, "Ministerieel besluit betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject," 2014). Alle aanvragen die tijdens een indienperiode werden ingediend worden gerangschikt op basis van de laagste score. De aanvragen met de laagste score worden als eerste beoordeeld tot het aantal van 30 goedgekeurde aanvragen is bereikt. (Art. 11, "Ministerieel besluit betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject," 2014)

3.3 Proefprojecten

3.3.1 Proefproject 2014

Na de eerste aanzet tot regelgeving van De Ridder et al. (2007) werd in de periode 2012 – 2014 de nodige wetgeving goedgekeurd die toeliet om proefprojecten met LZV's te starten. Het eerste proefproject in Vlaanderen startte op 1 april 2014 en had een looptijd van twee jaar. Na een positief advies van de evaluatiecommissie (*Tussentijdse evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject*, 2016) werd besloten om het proefproject verder te zetten tot en met 30 juni 2018 (Unie van Professionele Transporteurs en Logistieke ondernemers [UTPR], z.j.).

Het eerste proefproject werd uitgevoerd door twee ondernemingen – Ninatrans en Gilbert De Clercq. Dat is slechts 1% van het aantal ondernemingen dat een aanvraag had ingediend. Veel aanvragen werden geweigerd omdat de aanvragers ritten wensten uit te voeren met een grensoverschrijdend karakter. Van de 144 bedrijven die een aanvraag indienden waren 78,5% Nederlandse ondernemingen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2019). Deze bedrijven dienden 246 verschillende trajecten in. Van deze trajecten werd 97,5% geweigerd, omdat ze niet voldeden aan de eisen van het BVR 20/12/2013.

3.3.1.1 Impact op verkeersveiligheid

Met het proefproject uit 2014 wilde de Vlaamse wetgever de impact op de verkeersveiligheid nagaan. Daarom zijn er voorafgaand, tijdens en na het proefproject verschillende studies uitgevoerd die de impact op de verkeersveiligheid moesten bepalen.

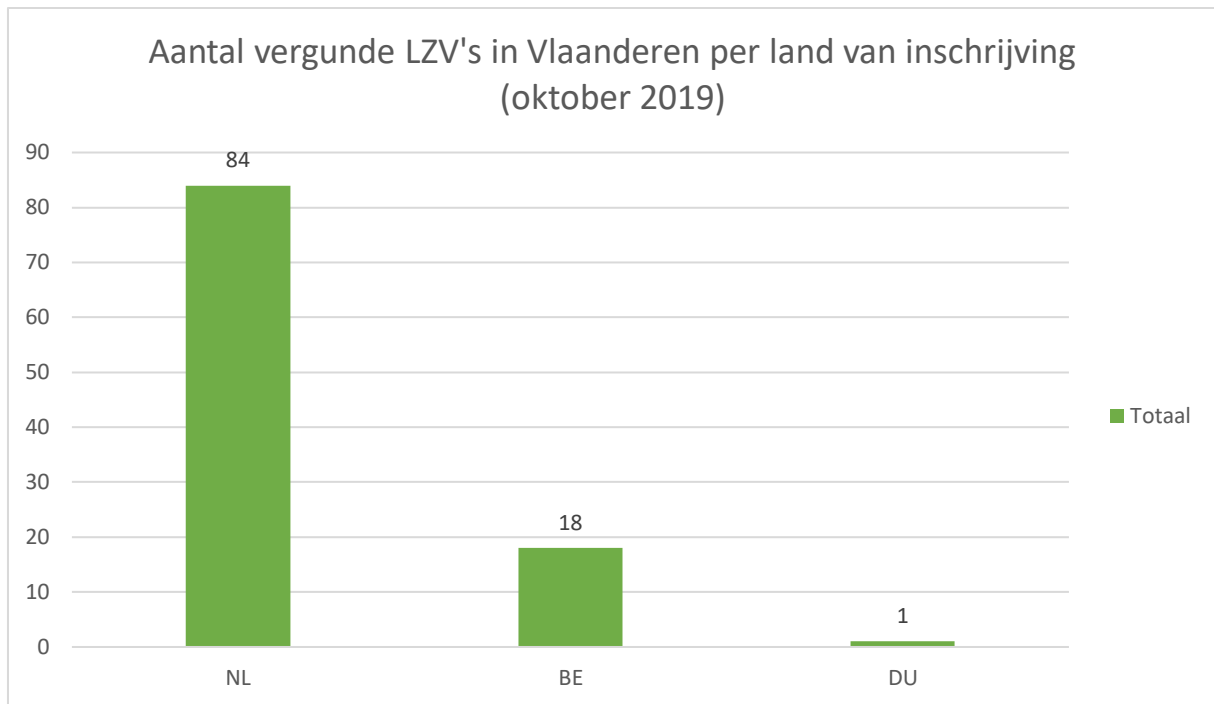
Debauche & Decock (2007) (in Ortega et al., 2014) vonden geen bewijs dat LZV's een negatieve impact hebben op het ongevalrisico. Later bevestigden verschillende wetenschappelijke onderzoeken dit besluit (Brijs et al., 2008; Knight, Newton, & McKinnon, 2008; Polders, Cornu, Carpentier, Brijs, & Daniels, 2016; Sanchez Rodrigues et al., 2015). Het onderzoek van Brijs et al. (2008) stelde dat de wetgever voldoende selectief moet omgaan met de selectie van de gebruikte wegen en technische hulpmiddelen moet verplichten. Hierdoor zal het aantal ongevallen waarschijnlijk niet toenemen. De auteurs verklaren dit door het expositie-effect – minder voertuigkilometers om een gelijke massa te transporteren. Dit expositie-effect stemt overeen met de bevinding van Knight et al. (2008) dat het veiligheidsrisico toeneemt per voertuigkilometer, maar daalt per eenheid goederen getransporteerd. Dit is logisch onder de voorwaarde dat het veiligheidsrisico gelijk blijft. Het veiligheidsrisico wordt gedeeld door minder voertuigkilometers, wat

leidt tot een stijging van het veiligheidsrisico per voertuigkilometer. Aan de andere kant kan een LZV meer goederen vervoeren. Onder een gelijkblijvend veiligheidsrisico daalt het veiligheidsrisico per eenheid goederen getransporteerd. Het onderzoek van Sanchez Rodrigues et al. (2015) deed een casestudy bij zes deelnemende bedrijven tijdens een proefproject in Duitsland. Daarnaast stuurden ze vragenlijsten naar 700 bedrijven. 58% van de respondenten denken dat er geen invloed is op verkeersveiligheid als er technische hulpmiddelen aanwezig zijn in de vrachtwagen en als de chauffeur een goede opleiding heeft genoten. Dit zijn ook aanbevelingen die Brijs et al. (2008) en ARCADIS (2016) geformuleerd hebben. Van de 6 deelnemers aan het proefproject in Duitsland rapporteerde geen enkele deelnemer een ernstig ongeval tijdens de test. Dit was ook het geval tijdens het eerste proefproject in Vlaanderen (*Tussentijdse evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject*, 2016). In Nederland werd tijdens de proef één ongeval gemeld met een LZV. De oorzaak was niet toe te schrijven aan het gebruik van een LZV (ARCADIS, 2016). ARCADIS (2016) verwacht dat het aantal doden en gewonden kan dalen door gebruik te maken van LZV's. Een deelnemer aan het proefproject in Duitsland voegde aan het onderzoek van Sanchez Rodrigues et al. (2015) toe dat het aantal ongevallen kan dalen door gebruik te maken van LZV's omdat er minder voertuigen op de weg zijn. Dit is het expositie-effect dat eerder ook werd beschreven door Brijs et al. (2008). Polders et al. (2016) bevestigt dat door het expositie-effect een daling van het aantal ongevallen verwacht kan worden, maar koppelt hier wel een dubbele voorwaarde aan. Enerzijds mag er zich geen *reverse modal shift* – vervoer met een vrachtwagen van goederen die eerder per schip of per trein vervoerd werden – voordoen van transport via spoor of binnenvaart, anderzijds moeten er effectief minder ritten nodig zijn om dezelfde hoeveelheid goederen te vervoeren.

Op basis van de resultaten van Brijs et al. (2008) heeft de Vlaamse overheid besloten om het proefproject uit 2014 te starten. In het onderzoek van Brijs et al. (2008) werden 47 randvoorwaarden geformuleerd, waarvan 27 voorwaarden als minimumeis moeten worden gesteld en twintig voorwaarden aanbevelingswaardig zijn. De auteurs besluiten dat deze randvoorwaarden de impact op het aantal ongevallen en de impact op de infrastructuur kunnen beperken.

3.3.2 Proefproject 2018

Met een nieuw wettelijk kader – Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een tweede proefproject (BVR 19/01/2018) – werd het proefproject 2014 stopgezet en werd gelijktijdig een nieuw proefproject gestart (Art. 23 & 25, BVR 19/01/2018). In oktober 2019 waren er 49 goedgekeurde aantakkingstrajecten (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-b) en waren er 103 vergunde voertuigen die op Vlaamse wegen mogen rijden (S. De Sutter, persoonlijke communicatie, 2 oktober 2019). Ter vergelijking: in Nederland waren er in mei 2018 volgens Jorritsma (2018) 1.800 vergunde LZV's. Figuur 17 toont de verdeling van het aantal vergunde LZV's in Vlaanderen per land van inschrijving. 81,5% van de vergunde voertuigen zijn ingeschreven in Nederland, 17,5% zijn Belgische voertuigen en 1% zijn Duitse voertuigen.



Figuur 17: Aantal vergunde LZV's in Vlaanderen per land van inschrijving (S. De Sutter, persoonlijke communicatie, 2 oktober 2019)

3.3.2.1 Verschillen met proefproject 2014

Na de positieve evaluaties van het eerste proefproject wilde Minister van mobiliteit Ben Weyts de aanvraag en regelgeving vereenvoudigen. Daarom heeft hij voorgesteld om drie types vergunningen toe te kennen in plaats van één type vergunning (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-c; Weyts, 2018). Met het nieuwe proefproject kunnen vergunningen worden toegekend voor de chauffeur, het traject of het voertuig. Tijdens proefproject 2014 werden deze drie elementen in één vergunning opgenomen. Naast deze versoepeling werden met BVR 19/01/2018 nog andere maatregelen van BVR 20/12/2013 versoepeld. Er was angst dat er een verschuiving zou plaatsvinden van vervoer via spoor en binnenvaart naar vervoer via LZV's. Daarom werd, mede onder invloed van het voorstel van De Ridder et al. (2007), artikel 3, 5° opgenomen in het BVR 20/12/2013 dat er geen vervoer mocht plaatsvinden van goederen die voorheen via spoor of binnenvaart werden vervoerd. Het BVR 19/01/2018 heeft geen vermelding meer van dit verbod, maar maakt wel melding van een verbod op vervoer van goederen met uitstekende delen in artikel 4. In sectie 3.3.2.3 wordt dieper ingegaan op de invloed van LZV's op vervoer via spoor en binnenvaart.

In het BVR 20/12/2013 werd het hoofdtraject omschreven als: "alle wegen die in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen worden aangemerkt als hoofdweg." Artikel 5 van het BVR 20/12/2013 maakt hierop een aantal uitzonderingen. Zo zijn enkele delen van de Ring rond Brussel en enkele delen van andere snelwegen verboden voor LZV's. Met de versoepeling van het BVR 19/01/2018 zijn alle snelwegen en wegen in de Vlaamse havengebieden opgenomen in het basisnetwerk (Art. 6, BVR 19/01/2018). Naast het hoofdtraject – basisnetwerk in BVR 19/01/2018 – werden met het BVR 20/12/2013 de bedieningstrajecten – aantakkingstrajecten in BVR 19/01/2018 – bepaald aan de hand van toetsingscriteria. Het lijkt erop dat de wetgever tijdens het eerste proefproject de toetsingscriteria subjectief liet beoordelen door het Departement MOW. Door artikel 9 – 10 van het

BVR 19/01/2018 werd de evaluatie van aantakkingstrajecten objectiever beoordeeld door middel van een puntensysteem. Dit puntensysteem wordt uitgelegd in sectie 3.3.2.2. De bedieningstrajecten van proefproject 2014 werden beperkt tot een afstand van 10 kilometer vanaf het hoofdtraject. Binnen proefproject 2018 wordt de afstand bepaald aan de hand van lopende secties. Deze lopende secties krijgen punten toegekend in het puntensysteem. Er is dus de mogelijkheid om verder vanaf het basisnetwerk uit te wijken.

In proefproject 2014 werd het aantal trajecten beperkt tot tien gedurende het hele proefproject (Art. 14, BVR 20/12/2013). Door de versoepeling in het kader van proefproject 2018 kunnen er elke 6 maanden, 30 nieuwe trajecten worden goedgekeurd (Art. 11, BVR 19/01/2018). Zo zijn er op dit moment 49 goedgekeurde aantakkingstrajecten. Een laatste versoepeling zit in de evaluatie van de proefprojecten. Zo moet de evaluatiecommissie in het huidige proefproject minstens elke 12 maanden samenkomen (Art. 21, BVR 19/01/2018) in plaats van minstens elke 6 maanden tijdens proefproject 2014 (Art. 16, BVR 20/12/2013).

In Tabel 5 wordt een schematisch overzicht gegeven van de belangrijkste verschillen tussen proefproject 2014 en proefproject 2018.

	Proefproject 2014	Proefproject 2018
Vergunning	1 vergunning voor een specifieke vrachtwagen op een bepaald traject door een bepaalde chauffeur uitgevoerd.	3 types vergunningen: chauffeur, vrachtwagen en traject.
Type goederen	- Goederen die vroeger via intermodaal vervoer werden vervoerd zijn verboden voor LZV's.	- Goederen die vroeger via intermodaal vervoer werden vervoerd mogen vervoerd worden per LZV. - Goederen met uitstekende delen verboden om te vervoeren per LZV.
Definitie	- Hoofdtraject: bepaalde delen snelweg verboden - Bedieningstraject	- Basisnetwerk: alle snelwegen + wegen in havengebieden - Aantakkingstraject
Beoordeling trajecten	Subjectief	Objectief op basis van toetsingscriteria en puntensysteem.
Aantal vergunningen	Maximaal 10 tijdens de hele proefperiode	- Aantakkingstrajecten: maximaal 30 per 6 maanden - Trucks en chauffeurs: onbeperkt
Evaluatie	Minstens elke 6 maanden	Minstens elke 12 maanden

Tabel 5: Vergelijking proefprojecten

3.3.2.2 Sjabloon aanvraag traject tijdens proefproject 2018

Ondernemingen die goederen vervoeren voor eigen rekening of voor rekening van derden mogen tijdens het proefproject een aanvraag voor een aantakkingstraject indienen (Art. 13, BVR 19/01/2018). Om deze aanvraag in te dienen moet de onderneming een uitgebreid visueel overzicht maken van de route op Google Maps en moet de onderneming een beschrijving maken in een sjabloon in Excel. Dit sjabloon zal de punten optellen, zoals genoemd in artikel 10, BVR 19/01/2018. Het Departement MOW zal op basis van het sjabloon en de punten een aantakkingstraject goedkeuren. Het sjabloon van de beschrijving van het traject is terug te vinden in bijlagen 3 en 4.

In dit sjabloon moet de aanvragende onderneming starten vanaf het basisnetwerk. Ten eerste moet de aanvrager invullen om welk type puntensysteem het gaat. Dit kan gaan om een van de types opgelijst in Tabel 6.

Type	Definitie
Kruising	Het punt op de route waar twee wegen samen komen. Dit is ook het op- of afrijden van een privaat domein.
Lopende sectie	Een stuk weg dat een gelijkaardig uitzicht heeft.
Zone 30	Een zone 30 wordt afgebakend door de borden opgenomen in bijlage 5. Deze borden kunnen dynamisch zijn.
Oversteek in zone 30	Het aantal oversteken voor voetgangers en fietsers in de zone 30.
Gevaarlijk punt	Gevaarlijke punten worden bepaald door het aantal (dodelijke) ongevallen in het verleden. Deze zijn terug te vinden op de website van het LZV-portaal.

Tabel 6: Types en definities van het puntensysteem ("Handleiding Invullen van de tabel voor het aanvragen van een LZV-route (Stap 2)," 2018)

Na het aangeven van het type, moet de aanvrager een verdere uitdieping maken. Deze uitdieping heeft veelal te maken met de aanwezigheid van: gevaarlijke punten, fietsers, voorrangsborden en verkeerslichten. Op basis van de verdere uitdieping wordt het totaal aantal punten bepaald. Er zijn 7 situaties die de facto de aanvraag voor een aantakkingstraject verwerpen. Deze zeven situaties zijn opgelijst in Tabel 7.

Situatie
Oversteek in zone 30 zonder voorzieningen
Rotonde nipt, fietsers in voorrang
Rotonde te klein, fietsers in voorrang
Rotonde te klein, fietsers uit voorrang
Rotonde te klein, geen fietsers
Gevaarlijk punt met een score > 25
Vaste signalisatie zone 30

Tabel 7: Situatie die aanvraag aantakkingstraject verwerpen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-a)

3.3.2.3 Bedreiging voor intermodaal vervoer

In het onderzoek van De Ceuster et al. (2008) werd al gewaarschuwd voor een mogelijke reverse modal shift. Daarom was het tijdens proefproject 2014 verboden voor vervoerders om goederen te vervoeren die voorheen per spoor of binnenvaart werden getransporteerd (Art. 3, 5°, BVR 20/12/2013). Vervoerders moesten daarom een document ondertekenen dat bevestigde dat ze geen goederen zouden transporteren die aan deze voorwaarde zou voldoen (Art. 4, 7°, "Ministerieel besluit betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject," 2014).

In Europa zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van de toelating van LZV's op het intermodaal vervoer. In een eerste analyse van ARCADIS (2016) in Nederland besluiten de deelnemers van het proefproject dat er geen reverse modal shift zal plaatsvinden. De voornaamste redenen zijn dat transporteurs werken volgens het *just in time* principe en dat de afzender of ontvanger veelal niet in buurt van spoor of water is gesitueerd. Het gaat hier om de flexibiliteit die het wegvervoer kan bieden en waarom bewust gekozen werd om LZV's in deze masterproef te onderzoeken. Om de exacte impact te kennen heeft ARCADIS (2016) een berekening gemaakt aan de hand van (kruis)elasticiteiten. Het onderzoek besluit dat er een daling is van 0,2% – 0,3% voor vervoer over water en een daling van 1,4% – 2,7% voor vervoer via spoor. Er wordt besloten dat

deze effecten zeer gering zijn. Het onderzoek in Duitsland van Sanchez Rodrigues et al. (2015) zegt dat 77% van de respondenten geen reverse modal shift verwachten. Dit mede doordat spoorvervoer niet kan concurreren met de flexibiliteit van deur-tot-deur die vrachtwagens kunnen bieden. Naast de flexibiliteit is er vaak geen spoorterminal in de omgeving van de afzender of ontvanger. Ook Verweij, Davydenko en Zomer (2011) hebben de impact van LZV's op intermodaal transport onderzocht. Hun onderzoek was gericht op alle Europese landen en concludeerde dat impact van LZV's op intermodaal vervoer zeer beperkt zal blijven. Het onderzoek in Vlaanderen van Meers et al. (2018) besluit dat er een kleine impact is voor het intermodaal vervoer. De auteurs waarschuwen echter wel voor een grote impact op het intermodaal vervoer, mochten de prijzen van wegvervoer dalen met 15% – 25%. Ze besluiten dat LZV's een positieve impact kunnen hebben voor de maatschappij, maar er moet wel rekening gehouden worden met extra externe kosten wanneer er een reverse modal shift zal plaatsvinden.

3.3.2.4 Toekomst

De huidige regelgeving is geldig tot en met 31 december 2024 (Art. 25, BVR 19/01/2018). Tot die tijd loopt het tweede proefproject in Vlaanderen en dienen bedrijven die ritten willen uitvoeren zich te houden aan de regels van het proefproject. Hiermee wordt bedoeld dat deze bedrijven moeten voldoen aan de technische eisen en dat ze data over hun ritten moeten delen met Departement MOW.

Zowel de huidige Vlaamse Minister voor mobiliteit, Lydia Peeters, als de vorige Minister, Ben Weyts, hebben nog geen verder beleid ontwikkeld rond de toekomst van de LZV.

3.4 Voor- en nadelen voor economie en maatschappij

Verschillende onderzoeken hebben de voor- en nadelen voor de economie en maatschappij geïdentificeerd. Door de inzet van LZV's zijn er minder voertuigkilometers benodigd (Brijs et al., 2008; De Ceuster et al., 2008; Ortega et al., 2014; Verweij et al., 2011). Dit zijn echter bevindingen gebaseerd op literatuurstudies en modellen. ARCADIS (2016) heeft op basis van de proefprojecten in Nederland empirisch kunnen afleiden dat LZV's een positieve impact hebben op het aantal voertuigkilometers. Dit komt doordat er minder voertuigen nodig zijn om dezelfde hoeveelheid goederen te transporteren. Over het algemeen gaat de literatuur er van uit dat drie normale vrachtwagens kunnen vervangen worden door twee LZV's. Zoals in sectie 3.3.1.1 aangehaald, hebben minder voertuigen een positieve impact op de verkeersveiligheid. Naast de daling van het aantal voertuigkilometers wordt er door Ortega et al. (2014) verwacht dat de kosten voor de transportondernemingen zullen dalen. Het onderzoek van Sanchez Rodrigues et al. (2015) heeft bij de zes deelnemende bedrijven aan een proef in Duitsland waargenomen dat de kosten daalden met ongeveer 30%. Deze daling was het gevolg van een lager brandstofverbruik, lagere investeringen, minder arbeidskosten en minder uitgaven aan toelagen voor vrachtwagens. ARCADIS (2016) concludeert dat het brandstofverbruik van een LZV gemiddeld 17% hoger ligt, maar de efficiëntieverbetering – meer tonkm met 1 liter brandstof – wordt geschat op 33%. Sanchez Rodrigues et al. (2015) onderzochten enkel het economische voordeel voor de deelnemende bedrijven. Er zijn echter ook voordelen voor de maatschappij. Door minder voertuigen en een gemiddeld lager brandstofverbruik, kan de emissie-uitstoot en overlast die wegvervoer veroorzaakt dalen. In het onderzoek van Sanchez Rodrigues et al. (2015) werd dit geschat op een daling van

respectievelijk 20% – 30% en 33%. ARCADIS (2016) schat de daling in Nederland op respectievelijk maximaal 25% en 0,7% – 1,4%. De geldelijke besparing van minder congestie wordt in Nederland geschat op 10 – 18 miljoen euro per jaar op basis van de 4 scenario's die gebruikt werden in het onderzoek. Deze scenario's gaan ervan uit dat een bepaald percentage van conventionele rondritten worden uitgevoerd door een LZV. De exacte percentages die gebruikt werden in het onderzoek van ARCADIS (2016) zijn terug te vinden in Tabel 8.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Gemiddelde vervangingspercentage	7%	17%	26%	31%

Tabel 8: Percentage reguliere rondritten (>20 ton) dat wordt vervangen door LZV's (ARCADIS, 2016)

De belangrijkste nadelen die in de literatuur naar voren komen zijn de reverse modal shift en de impact op de verkeersveiligheid. In secties 3.3.1.1 en 3.3.2.3 werden deze negatieve effecten besproken en werd bekeken hoe de impact tot een minimum beperkt kan worden.

3.5 Interview met een gebruiker van een LZV

3.5.1 Methode en doel

Een interview met een LZV gebruiker werd afgenomen op vrijdag 22 november in een lokaal op de universitaire campus in Diepenbeek. Het interview werd afgenomen van een werknemer van een middelgroot transportbedrijf dat een goedgekeurde LZV heeft binnen het kader van een proefproject in Wallonië. De werknemer heeft het project, voorafgaande aan de goedkeuring, begeleid. Er wordt verwacht dat hij voldoende kennis heeft over het project met de LZV en LZV's in het algemeen.

Voor dit interview werd gekozen voor een semigestructureerd interview. Hiervoor werd op voorhand een vragenlijst opgesteld die terug te vinden is in bijlage 6. Het voordeel van een semigestructureerd interview is dat het mogelijk is om van de vragenlijst af te wijken en dieper in te gaan op de antwoorden van de geïnterviewde.

Het doel van dit interview is om de bevindingen uit de literatuurstudie te kunnen toetsen met een reële case en om de praktische beperkingen van de LZV gebruiker te leren kennen.

3.5.2 Resultaten

De resultaten worden weergegeven op basis van de structuur van het interview. Eerst worden de resultaten over de algemene visie en het proefproject gerapporteerd, vervolgens de resultaten over de implementatie van de LZV in de vloot. Tot slot wordt de visie voor de toekomst van het bedrijf en de geïnterviewde weergegeven.

3.5.2.1 Algemene visie en proefproject

Het bedrijf heeft op vraag van een klant een LZV opgenomen in de vloot. Het doel was om dranken te vervoeren tussen de productie en het magazijn van een grote klant. De keuze voor een LZV kwam er omdat veel goederen vervoerd moeten worden tussen deze locaties en er bijgevolg een constante verbinding is. Door de inzet van de LZV kunnen meer goederen per rit worden vervoerd. De geïnterviewde is van mening dat de LZV wordt voorgesteld als een mooi verhaal. Echter zijn er volgens hem een aantal praktische beperkingen, zoals het ontbreken van parkeerplaatsen voor LZV's. Het bedrijf kon na de implementatie de LZV niet optimaal benutten omdat bij een

beladingsgraad van $\pm 100\%$, de maximale massa van 60 ton zou worden overschreden. De verkoopprijs voor deze diensten bleek daarnaast te hoog te zijn voor de klant. Dit was het gevolg van twee oorzaken. Enerzijds moest de hele rondrit betaald zijn. Dit houdt in dat er een heen- en terugvracht moet bestaan voor ritten met een LZV, wat in deze case wel aanwezig was. Als conventionele trucks zouden worden gebruikt, kan men flexibeler zijn in het toekennen van de verschillende ritten. Een LZV kan enkel op het vooraf bepaalde traject rijden. Anderzijds was er extra tijd nodig om de ritten met de LZV uit te voeren. De chauffeur moest tijdens het laden en lossen de oplegger en de aanhangwagen loskoppelen en tegen een loskade plaatsen. Naast de extra tijd tijdens het laden en lossen werd de mogelijke wachttijd bij files op het traject in rekening gebracht. De LZV is verplicht het vooraf bepaalde traject te volgen en kan bijgevolg niet afwijken indien er vertragingen zijn op het traject. De vergunning liet enkel toe om op dit ene traject te rijden. De geïnterviewde is van mening dat de LZV goed gebruikt kan worden voor lichte goederen. Voor zwaardere goederen, zoals drank of staal, is de LZV een minder goede optie.

Het rendement voor het bedrijf is niet kwantificeerbaar omdat het bedrijf geen gebruik maakt van de LZV. De geïnterviewde is overtuigd dat de aangeboden prijzen aan de klant een positief financieel rendement hadden voor het bedrijf. Hij stelt daarbij dat het totale rendement afhangt van de overeengekomen prijs, die in dit geval te hoog was voor de klant. De grootste kost voor transporten met een LZV zijn de loonkosten. Deze loonkosten kunnen wel verdeeld worden over meer goederen die getransporteerd worden. Het brandstofverbruik zal stijgen, maar het verbruik per tonkm zal wel dalen. Naast het rendement voor het bedrijf denkt de geïnterviewde dat het rendement voor de maatschappij, op voorwaarde dat de capaciteit optimaal benut wordt, wel altijd aanwezig zal zijn bij een LZV. De geïnterviewde besluit dat er met andere soorten goederen betere optimalisaties mogelijk zijn, dan bij het vervoer van drank. Met andere soorten goederen is het volgens hem mogelijk om meer vrachtwagens van de weg te halen.

3.5.2.2 Implementatie van de LZV in de vloot

De totale investering in de LZV werd door het bedrijf nooit exact berekend. Er zijn wel extra investeringen geweest. Het bedrijf kocht een nieuwe trekker aan die duurder was dan een normale trekker door het extra vermogen dat nodig was. Daarnaast kocht het bedrijf een extra aanhangwagen aan en moest de oplegger uitgerust worden met een extra koppelpunt voor de aanhangwagen. De extra aanhangwagens kan nu bij andere voertuigcombinaties gebruikt worden. Deze investering is niet verloren gegaan. De aangekochte voertuigen moesten tot slot extra gekeurd worden. Naast de investeringen in voertuigen moesten enkele chauffeurs een dag opleiding gaan volgen. Al deze investeringen werden meegenomen in de verkoopprijs van de diensten met LZV. Het bedrijf dient immers al deze kosten te kunnen terugverdienen.

Het bedrijf heeft de aanvraag- en goedkeuringsprocedure ervaren als zeer moeizaam. Het was onduidelijk wat er wel en niet gedaan moest worden en de taalbarrière maakte het soms moeilijker dan verwacht. Volgens de geïnterviewde heeft de Waalse overheid in dat opzicht goed meegewerkt. Op de ingediende documenten kregen ze steeds feedback, waarna de nodige aanpassingen konden gebeuren. Het bleek pas mogelijk om een aanvraag in te dienen als het voertuig eigendom was van het bedrijf. Dit leidde ertoe dat de aanvraag vertraagd werd en dat Nederlandse bedrijven sneller konden opereren binnen het proefproject omdat zij al beschikten over het nodige materieel. De

geïnterviewde omschrijft dit als een *first mover advantage*. Het werd een leerproces voor zowel de bedrijven als de overheid, want de Waalse overheid moest in het aanvraagproces ook nog de nodige ervaring opdoen.

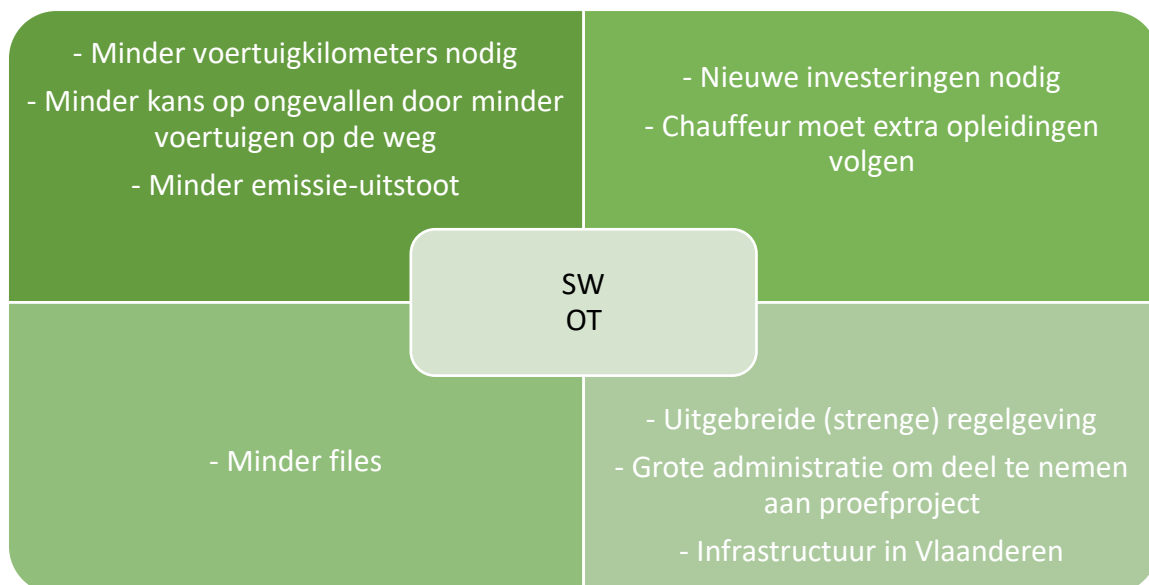
3.5.2.3 Visie voor de toekomst

De geïnterviewde wil graag de LZV gebruiken in Vlaanderen. Hij is niet op de hoogte van de vereenvoudigingen – gebruik basisnetwerk en alle trajecten – in Vlaanderen. Er is een mogelijkheid om de LZV in te zetten voor hun andere klanten. De LZV dient dan enkel tot bij de bedrijfsgebouwen te komen, hetgeen moeilijker wordt gezien de langere afstand tot het basisnetwerk.

Daarom gaat de voorkeur van de geïnterviewde uit naar één gelijk systeem voor België en geen verschillende systemen per regio. Hij stelt voor dat de overheid proactief zones gaat vergunnen die met de LZV kunnen bediend worden. Een voorbeeld van deze zones zijn de industriezones. Vanaf dat je met de LZV het industriegebied kan bereiken, mag je het hele industriegebied bedienen per LZV. Dit kan ertoe leiden dat meer bedrijven gebruik gaan maken van LZV's, omdat er dan geen administratieve procedure aan moet voorafgaan.

In de toekomst moet de overheid inzetten op het gebruik van LZV's, vindt de geïnterviewde. Het Nederlandse voorbeeld bewijst dat LZV's praktisch mogelijk zijn. De Belgische overheid moet inzetten op de LZV's om te vermijden dat Nederlandse transportbedrijven de markt komen innemen. Dit is nu al mogelijk aan de gang in Vlaanderen gezien het hoge percentage Nederlands vergunde voertuigen (zie 3.3.2). De opportuniteiten voor de LZV liggen voornamelijk bij de langere trajecten en lijndiensten. De geïnterviewde denkt dat door de inzet van LZV het aantal voertuigen op de weg zal afnemen, met positieve gevolgen voor de filezwaarte, het milieu en het aantal ongevallen.

3.6 Besluit op basis van een SWOT-analyse



Figuur 18: SWOT-analyse LZV

De LZV kan een gunstig effect hebben voor zowel de economische actoren, als voor de maatschappij. Doordat LZV's langer zijn en meer massa mogen vervoeren zijn er minder voertuigkilometers nodig om een gelijke hoeveelheid goederen te vervoeren. Hierdoor daalt de kans op ongevallen omdat er

minder voertuigen op de weg zijn. Er wordt algemeen aanvaard dat drie normale vrachtwagens kunnen vervangen worden door twee LZV's. Mede door de daling in het aantal voertuigen en de efficiëntieverbetering van de ritten, zal de emissie-uitstoot dalen. Ook andere externe effecten, zoals files, congestie en geluidshinder, zullen afnemen. Dit heeft positieve gevolgen voor de maatschappij.

Om al deze positieve gevolgen te kunnen realiseren, moeten vervoerders extra investeringen doen. Zo moeten er waarschijnlijk nieuwe types voertuigen aangeschaft worden. Extra investeringen van de bedrijven zijn nodig om de voertuigen gekeurd en vergund te krijgen. Ook de chauffeur moet een extra opleiding krijgen en zich permanent vormen. De tijd die de chauffeur besteedt aan het volgen van opleidingen, kan niet gebruikt worden om een vrachtwagen of LZV te besturen.

Als er wordt gekeken naar de bedreigingen voor LZV's blijkt dat de regelgeving en administratie zeer streng zijn. Sinds het proefproject uit 2018 zijn de regels soepeler geworden, maar bedrijven moeten nog steeds de nodige vergunningen aanvragen. Dit kan veel tijd in beslag nemen, waardoor bedrijven mogelijk de LZV links laten liggen. De wetgeving verplicht deelnemers aan het proefproject data over de ritten te delen met het Departement MOW. Tot slot kan de Vlaamse weginfrastructuur een struikelblok vormen voor LZV's. Er is niet altijd voldoende plaats op de wegen om vervoer met LZV's mogelijk te maken. Hierdoor kunnen potentiële routes soms niet bereden worden met een LZV.

Na de literatuurstudie werd een interview afgenomen met een gebruiker van een LZV tijdens het proefproject in Wallonië. De geïnterviewde schat het rendement voor de transportbedrijven en de maatschappij positief in. Hij hekelt de administratieve procedures voor de aanvraag en denkt dat een systeem voor heel België beter zou zijn. Daarbij moet de overheid proactief zones – industriezones – vergunnen zodat de bediening per LZV makkelijker wordt voor de transportbedrijven.

4 Platooning

In deze sectie wordt onderzocht hoe platooning kan bijdragen tot een duurzamer transport. Er wordt gestart met de uitgebreide definitie van platooning volgens de literatuur en wetgeving. Na de definitie volgt het wettelijk kader in België en Vlaanderen. Uit verschillende bronnen blijkt dat het doel is om platooning in 2020 uit te kunnen rollen (Europese Commissie, 2018; Janssen et al., 2015). Daarom zal worden onderzocht tot welke resultaten de proefprojecten in Europa hebben geleid. Op basis van deze proefprojecten kan worden nagegaan welke impact platooning heeft op de verkeersveiligheid en welke voor- en nadelen er zijn voor de economie en de maatschappij. Vooraleer een besluit te vormen, wordt onderzocht hoe platooning tot stand kan komen.

4.1 Definitie

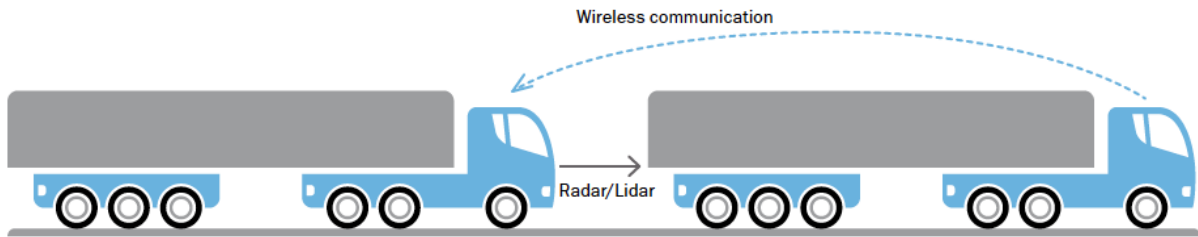
Volgens European Automobile Manufacturers Association [ACEA] (z.j.), Janssen et al. (2015) en Bergenhem, Ahmed Benmimoun en Robinson (2010) is platooning het koppelen van twee of drie voertuigen die in een konvooi op een bepaalde, korte afstand volgen door gebruik te maken van communicatietechnologie en automatische rijhulpsystemen. Voorbeelden van deze automatische rijhulpsystemen worden besproken in sectie 4.6.4. De definitie die eerder werd aangehaald is ook de definitie uit Verhagen (2018). Verhagen (2018) breidt de definitie nog uit met behulp van informatie van ACEA. Het tweede luik omschrijft Verhagen (2018) als de verschillende rollen binnen een platoon:

De voorste truck handelt als een leider. De voertuigen die volgen reageren op veranderingen in beweging van de leider, zonder dat de bestuurder zelf moet ingrijpen. In de eerste fase zullen bestuurders nog steeds de controle moeten hebben over het voertuig zodat ze zelf kunnen beslissen wanneer ze de platoon verlaten. (p. 4)

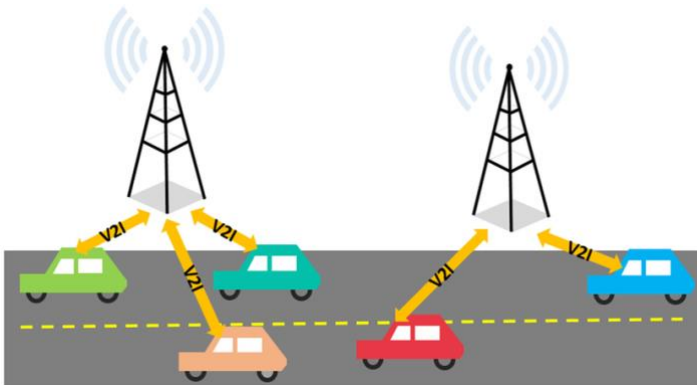
Dit tweede luik houdt sterk verband met de verschillende niveaus van automatisatie die Janssen et al. (2015) en Society of Automotive Engineers [SAE] (2018) hebben beschreven (Bijlage 7). Andere auteurs hebben het ook over voertuigen die met een korte afstand elkaar volgen met als doel: energie te besparen (Tsugawa, Jeschke, & Shladover, 2016) en minder emissies uit te stoten (Scora & Barth, 2006, in Larsen, Rich, & Rasmussen, 2019).

4.1.1 V2V communicatie

In de definitie van platooning is de communicatietechnologie een belangrijk aspect. *Vehicle-to-vehicle* communicatie (V2V) staat toe dat de voertuigen die deelnemen aan een platoon lokaal data met de andere voertuigen van de platoon kunnen delen. Dit gaat om data met betrekking tot de snelheid en acceleratie van de truck, alsook data afkomstig van de sensoren op de truck (Bergenhem, Shladover, Coelingh, Englund, & Tsugawa, 2012). Deze V2V kan op verschillende manieren ontstaan. De communicatie tussen twee voertuigen kan direct plaatsvinden (Figuur 19) of kan plaatsvinden met behulp van een netwerk. Als voertuigen communiceren met behulp van een netwerk, wordt dit ook *vehicle-to-infrastructure* communicatie (V2I) genoemd (Figuur 20).

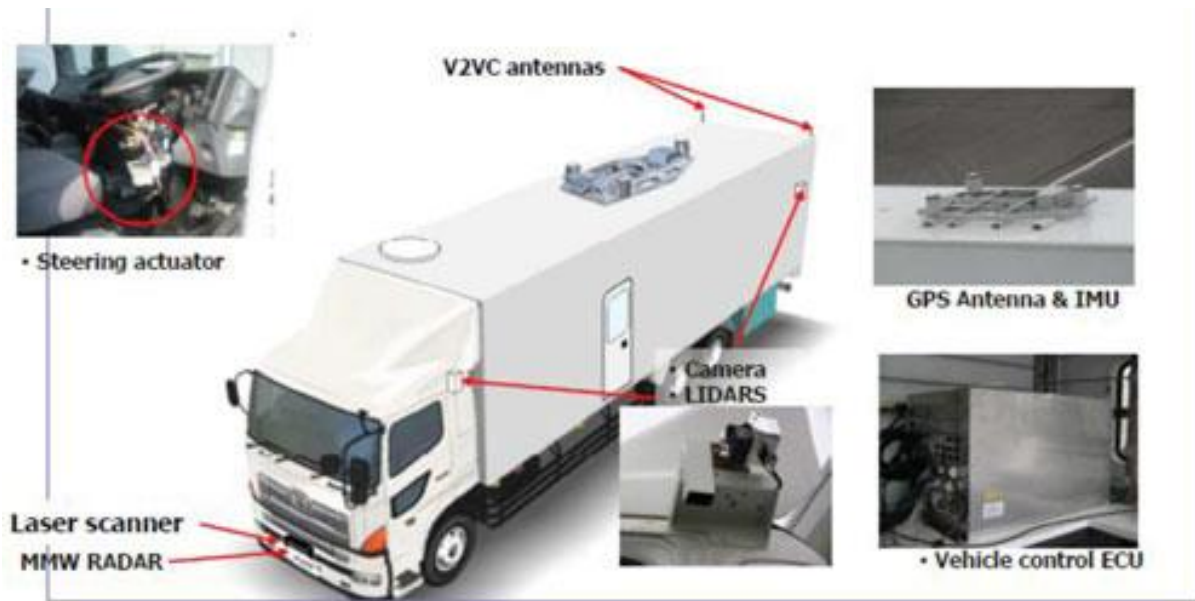


Figuur 19: V2V (Janssen et al., 2015)



Figuur 20: V2I (Parrado & Donoso, 2015)

Het voordeel van de communicatie tussen voertuigen is dat de voertuigen in de platoon niet zelf hoeven te meten welke acties moeten worden ondernomen. Dit wordt door Bergenhem et al. (2012) beschreven. De auteurs van dit onderzoek geven als voorbeeld de acceleratie van het leidende voertuig (LV). Als de chauffeur van het LV beslist om snelheid te maken, wordt dit gemeten in het gaspedaal. Het LV stuurt de data naar het volgende voertuig (FV). Dit kan sneller dan dat het FV met zijn sensoren (zie voorbeeld in Figuur 21) moet meten dat het LV snelheid maakt. Krosse (2016) besluit dat hierdoor de schokbewegingen en eventuele files vermeden kunnen worden.

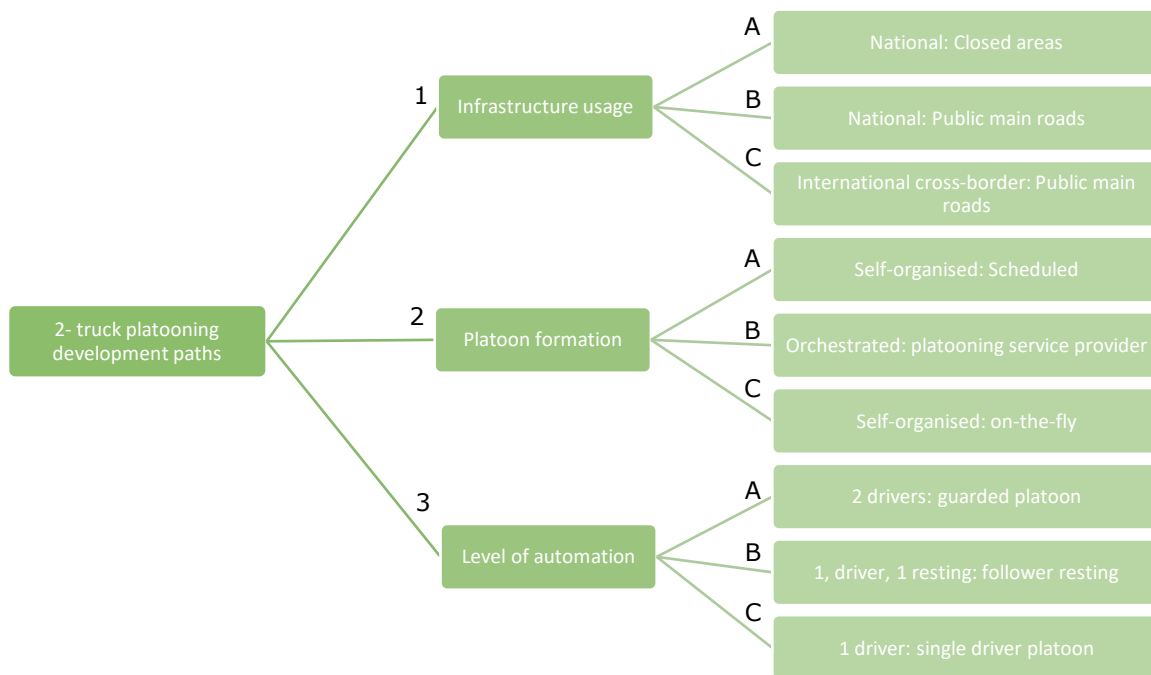


Figuur 21: Configuratie van een truck in een platoon (Tsugawa et al., 2016)

4.2 Hoe kan platooning werken?

Deze sectie is gebaseerd op het onderzoek van Janssen et al. (2015).

Janssen et al. (2015) hebben in hun onderzoek over de toekomst van platooning een ontwikkelingstraject opgesteld. Dit is te zien in Figuur 22. De auteurs werken steeds in drie niveaus om platooning met twee trucks te kunnen bereiken. Om te beginnen maken de auteurs een opsplitsing tussen (1) het gebruik van infrastructuur, (2) de vorming van de platoon en (3) het niveau van automatisatie. Deze opdeling wordt verder opgedeeld in drie subcategorieën. Deze subcategorieën zijn logische stappen die moeten gezet worden om een single driver platoon te kunnen vormen – dit zijn twee trucks met slechts één bestuurder in de eerste truck, waarbij de tweede truck de eerste truck volgt.



Figuur 22: Development paths for Truck Platooning (Janssen et al., 2015)

4.2.1 Infrastructuur

Platooning moet net zoals bij LZV's eerst bewijzen dat het veilig genoeg is om op publieke wegen te mogen rijden. Bij platooning kan er sprake zijn van een extra barrière, omdat in het single driver platoon geen bestuurder aanwezig is in het FV. Volgens Janssen et al. (2015) moeten projecten voor het testen van platooning eerst worden uitgevoerd in een gesloten omgeving (1A). Tijdens deze testen kan de veiligheid van de technologie worden nagegaan en kunnen bedrijven verschillende platooning combinaties, zoals een combinatie van lichte en zware voertuigen, testen. Vanaf het ogenblik dat deze test in een gesloten omgeving succesvol was, kan er meer vertrouwen komen in de overstap naar testen op publieke wegen (1B). Dit is enkel mogelijk van zodra de wet dit toelaat. Tijdens de test op publieke wegen kan platooning getest worden met bestaande verkeerssituaties. Enkele voordelen van testen op publieke wegen zijn volgens Janssen et al. (2015) dat andere gebruikers kunnen wennen aan de lengte die platoons in beslag nemen. Na de test op nationale wegen kan er een uitbreiding plaatsvinden naar internationaal vervoer binnen Europa. (1C).

4.2.2 Platoonvorming

Een tweede element in de ontwikkeling van 2-truck platooning is de platoonvorming. Ook hier is volgens Janssen et al. (2015) een logische ontwikkeling mogelijk. Bij de introductie van platooning zullen transportbedrijven zelf instaan voor het vormen van de platoon (2A). De planners moeten dan rekening houden dat twee trucks op hetzelfde ogenblik vertrekken. De auteurs definiëren deze situatie als *scheduled platooning*.

In een later stadium verwachten Janssen et al. (2015) dat nieuwe bedrijven zullen ontstaan die platoonvorming zullen begeleiden (2B). Deze bedrijven zullen als platform dienen om trucks van verschillende bedrijven, die eenzelfde richting uitgaan, samen te kunnen laten rijden in een platoon. Het voordeel voor transportondernemingen is dan dat zij niet twee trucks hoeven te laten rijden en dat de *platooning service provider (PSP)* de administratie afhandelt en de verdeling van de winsten eerlijk verdeelt. Bij de eerlijke verdeling van de winsten kan geopteerd worden om supply chain collaboration theorie toe te passen. Daarnaast kent de PSP de deelnemende bedrijven wat leidt tot meer vertrouwen tussen de deelnemende transporteurs.

In een derde fase kan er *on-the-fly* platooning ontstaan (2C). Dit betekent dat voertuigen tijdens hun rit een platoon kunnen vormen of kunnen aansluiten bij een reeds bestaande platoon. Uit het onderzoek van Janssen et al. (2015) blijkt dat de voordelen van *on-the-fly* platooning sterk kunnen toenemen, aangezien er meer kilometers kunnen worden afgelegd in een platoon. Een nadeel in vergelijking met de PSP is dat deelnemers elkaar niet kennen en er mogelijk een wantrouwen zal ontstaan, daardoor is het niet zeker dat de evolutie van platoonvorming in deze logische volgorde zal verlopen. Er kunnen een aantal transportbedrijven blijven opteren voor het gebruik van PSP over langere afstanden. Deze twee situaties – PSP en *on-the-fly* platooning – worden in de toekomst mogelijk samen gebruikt.

4.2.2.1 Platoonconnect: een platooning service provider

Op dit moment zijn er weinig PSP's op de markt. Platoonconnect is de eerste aanbieder in Europa in de vorm van een PSP. Deze Duitse startup heeft in 2017 een pitch gehouden tijdens het eerste BMVI Startup Pitch event (BMVI, 2017). De BMVI is het Duitse ministerie voor verkeer en digitale infrastructuur. Tijdens deze pitch van drie minuten werden drie voordelen van platooning aangehaald: een efficiënter gebruik van de infrastructuur, de verhoogde verkeersveiligheid en een daling van brandstofverbruik. De eigenaars van de startup stellen dat er op dit moment een neutrale aanbieder op de markt ontbreekt die de verbindingen tussen compatibele voertuigen kan maken. Daarom wil Platoonconnect een platform oprichten met vier modules. Deze modules worden besproken in Tabel 9.

Module	Doel
Enable platooning	Transportbedrijven helpen om platooning te introduceren op hun voertuigen.
Organize platoons	Kern van de onderneming. Met behulp van het algoritme voertuigen samenbrengen die een gelijke route zullen nemen.
Support platoons	Ondersteunende diensten aanbieden voor platoons.
Accounting	Alle voordelen van platooning gelijk verdelen tussen de deelnemers.

Tabel 9: Modules Platoonconnect

Platoonconnect verwacht om in de periode 2017 – 2019 alles te kunnen ontwikkelen en te testen. In 2020 wil Platoonconnect operationeel zijn en verwachten ze een omzet van 1 miljoen euro (BMVI, 2017).

4.2.3 Niveau van automatisatie

De wetgeving die vereist dat elk voertuig een bestuurder nodig heeft speelt een belangrijke rol in het niveau van automatisatie. Tot het moment dat de EU of lidstaten de wetgeving aanpassen en het mogelijk maken om een voertuig te laten rijden zonder bestuurder kan er enkel gebruik gemaakt worden van een guarded platoon (3A). Hierbij moet de bestuurder actief zijn en ingrijpen wanneer dit vereist is. In een tweede fase moet de bestuurder van het FV in het voertuig zijn, maar kan hij bijvoorbeeld rust nemen (3B). Het doel van deze tweede fase is dat de chauffeur in het FV dicht bij de eindbestemming de besturing kan overnemen en kan verder rijden tot het eindpunt van de rit. Tot slot is het doel van platooning om de derde fase te bereiken (3C). Dit is een situatie waarbij slechts één bestuurder in het eerste voertuig aanwezig is. Het tweede voertuig volgt het eerste voertuig zonder aanwezigheid of tussenkomst van een bestuurder in het tweede voertuig. Een bestuurder die tot het eindpunt rijdt is aanwezig op het punt waar de twee trucks worden ontkoppeld. Deze laatste situatie heeft een positieve impact op de transportkosten. Er is slechts één bestuurder nodig om een lange afstand te overbruggen.

4.3 Planningsalgoritmes voor platooning

In de literatuur is op dit ogenblik weinig terug te vinden over planningsalgoritmes voor platooning. Mahnam Saeednia en Monica Menendez hebben de mogelijke planningsalgoritmes onderzocht en ontwikkeld tijdens hun onderzoeken in 2016 en 2017. Deze sectie zal daarom gebaseerd worden op deze beide onderzoeken. Het doel van deze sectie is om weer te geven hoe het concept werkt. De technische benadering van de algoritmes zal niet worden behandeld.

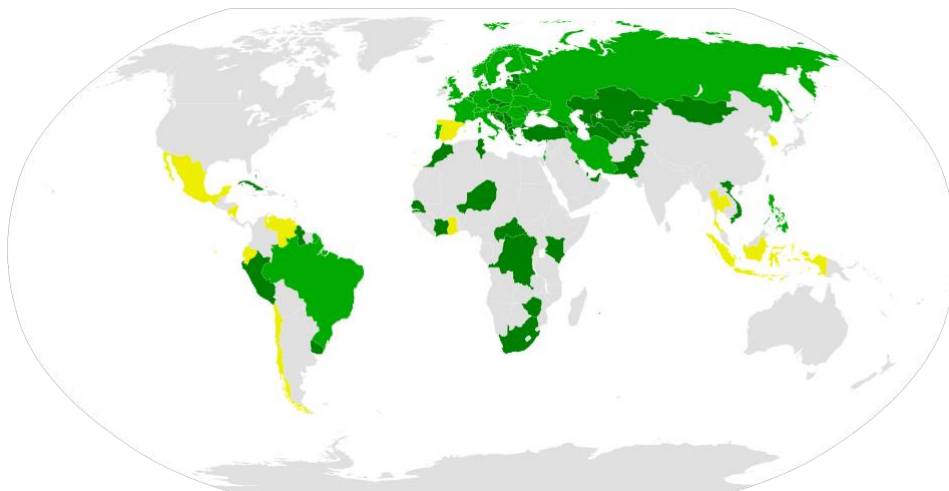
Tijdens hun onderzoek beschrijven Saeednia en Menendez (2016) drie strategieën om een platoon te vormen. Ten eerste is er de *catch up* strategie. Dit betekent dat het FV snelheid moet maken om het LV in te halen. De auteurs beschrijven de beperking dat het FV niet altijd in staat is om het LV in te halen omwille van fysieke of praktische beperkingen. Daarnaast is er de *slow down* strategie. Hierbij vertraagt het LV zodat het FV het LV kan inhalen. Bij deze strategie kan de vereiste snelheidsreductie van het LV significant hoog zijn, hetgeen tot problemen kan leiden. Het LV wil de snelheid bijvoorbeeld niet reduceren zonder incentive. Een erg trage LV kan leiden tot een bottleneck voor het verkeer, hetgeen leidt tot een reductie van de wegcapaciteit. Dit is niet wenselijk, aangezien een voordeel van platooning is dat de wegcapaciteit geoptimaliseerd wordt. Dit wordt later beschreven in sectie 4.6.3. Omdat beide strategieën te maken hebben met de nodige problemen, stellen Saeednia en Menendez (2016) een hybride strategie voor. Volgens deze strategie moeten zowel het LV als het FV hun snelheid aanpassen – verhogen of verlagen. De voordelen van de *catch up* en *slow down* strategie zijn hier van toepassing en de nadelen worden geminimaliseerd.

In het onderzoek van Saeednia en Menendez (2017) wordt een *consensus-based* algoritme voorgesteld. Daarbij doorloopt het proces van platooning meerdere iteraties waarbij kleinere platoons gevormd kunnen worden. In dit proces moeten alle deelnemers – agenten – overeenstemming bereiken over een bepaalde snelheid waardoor een platoon gevormd kan worden.

4.4 Wettelijk kader

De van kracht zijnde wetten vormen op dit ogenblik een belangrijke beperking om platooning te introduceren. Zoals aangehaald in sectie 1.1 moet volgens artikel 8.1 van het KB 01/12/1975 elk voertuig een bestuurder hebben. Deze regel werd overgenomen van artikel 8 van het Verdrag van Wenen (1968). Dit verdrag is niet enkel van toepassing in Europa, maar ook in andere landen. Figuur 23 toont een overzicht van alle landen die op dit moment het verdrag:

- hebben geratificeerd (lichtgroen) – landen die het verdrag hebben ondertekend in 1968 en die het verdrag hebben overgenomen in nationale wetgeving;
- zijn toegetreden (donkergroen) – landen die na 1968 zijn toegetreden;
- wel hebben ondertekend, maar nog niet hebben geratificeerd (geel) – landen die het verdrag in 1968 hebben ondertekend, maar nog niet hebben overgenomen in nationale wetgeving.



Figuur 23: Landen bij het verdrag inzake wegverkeer ("Partijen bij het verdrag inzake wegverkeer," 2018)

Op 23 september 2014 hebben België, Duitsland, Frankrijk, Italië en Oostenrijk een amendement ingediend op artikel 8 ("Tractatenblad van het Koninkrijk der Nederlanden," 2016). Dit amendement bepaalt dat als voertuigen worden uitgerust met voertuigsystemen, die het voertuig kunnen besturen, dat het voertuig in overeenstemming is met de voorwaarde dat elk voertuig een chauffeur moet hebben.

Op dit moment is het amendement nog niet goedgekeurd en opgenomen in de verdragstekst. Daarom heeft de federale wetgever in 2018 een extra bepaling opgenomen in het KB 01/12/1975. Artikel 59/1 van het KB 01/12/1975 bepaalt dat proefprojecten met geautomatiseerde voertuigen mogelijk zijn onder bepaalde voorwaarden. Dit is een eenvoudige bepaling die uitgewerkt werd in een gedragscode voor testen in België (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, 2016).

4.4.1 Gedragscode voor testen in België (GCTB)

Deze gedragscode vormt de basis voor testen met autonome voertuigen. De code is opgesteld door de Vlaamse, Waalse en Brusselse overheid, de sectorfederaties Agoria en Febiac en het Belgisch Instituut voor Verkeersveiligheid (nu: VIAS). De Belgische gedragscode werd afgeleid vanuit de Britse gedragscode uit 2015.

Enkele bepalingen uit de GCTB zijn gelijkend met de wetgeving voor LZV's. Zo moet de bestuurder beschikken over een correct rijbewijs en moet hij een opleiding hebben gevolgd (Art. 4.1, 4.5 & 4.8, GCTB). Het voertuig waarmee de test wordt uitgevoerd moet voldoen aan de nationale eisen (Art. 5.2, GCTB). Daarnaast moeten de organisaties – ontwikkelaars van autonome voertuigen – voldoende procedures opstellen. Het GCTB verplicht om volgende procedures op te stellen:

- Procedure om te verzekeren dat testrijders en -operators bekwaam zijn (Art. 4.8, GCTB).
- Procedure die verzekert dat testrijders en -operators voldoende alert zijn (Art. 4.12, GCTB).
- Procedure voor risicobeheer (Art. 5.4, GCTB).
- Noodprocedure (Art. 5.18, GCTB).

Als de test goedgekeurd en uitgevoerd is, moet de testende organisatie een rapport opstellen en overmaken aan de overheden (Art. 3.8, GCTB). Dit heeft als doel dat alle overheden kunnen leren uit de testen en in de toekomst kunnen anticiperen op risico's.

Tot slot hebben de auteurs van de gedragscode een sectie ingevoerd die de testende organisaties verplichten de communicatietechnologieën voldoende te beveiligen. De fabrikant moet zorgen dat onbevoegden geen externe toegang kunnen krijgen en beveelt daarom de beveiligingsbeginselen van IEC 61508-standaard aan (Art. 5.12 – 5.13, GCTB).

Vanaf het ogenblik dat een organisatie een test wil uitvoeren in de publieke ruimte – wegen – moet zij voldoen aan de eisen van de GCTB en moet zij een aanvraag indienen bij de minister die bevoegd is voor mobiliteit. De minister zal dan oordelen over de aanvraag. In 2016 hebben twee ondernemingen vanuit België en door Vlaanderen deelgenomen aan een Europese test: European Truck Platooning Challenge.

4.5 Proefprojecten

Er zijn sinds lange tijd proefprojecten om platooning te testen. Midden jaren 90 startten de eerste projecten in de EU en de Verenigde Staten (Tsugawa et al., 2016). In 2005 startte in Duitsland het KONVOI-project. KONVOI was de aanzet tot de start van meerdere Europese proefprojecten zoals SARTRE (2009 – 2012), European Truck Platooning Challenge (2016), ENSEMBLE (2018 – 2021) en ARCADE (2018 – 2021). Deze drie recentste proefprojecten worden in de volgende secties besproken.

4.5.1 SARTRE

SARTRE is de afkorting van 'Safe Road Trains for the Environment'. Het doel van dit project is om te onderzoeken hoe platoons kunnen worden geïntegreerd in het verkeer zonder aanpassingen te maken aan de weginfrastructuur en welke technologie hierbij kan helpen (Bergenheim et al., 2012). Het basisidee van dit project is dat een vrachtwagen de rol van LV opneemt en dat er drie personenwagens de rol van FV opnemen. Tijdens de startfase deden de constructeurs testen in hun eigen testomgevingen. Later konden alle constructeurs samen een globale test uitvoeren op de testwegen van IDIADA (Davila & Nombela, 2013). Dit is een testweg met een afstand van 7560 meter. Davila en Nombela (2013) beschrijven een voorstel voor een test in een echte verkeerssituatie tussen de steden Calafell en Vilanova in Spanje. Dit deel van de autosnelweg is 12km lang en omvat

enkele uitdagingen voor platooning, zoals tunnels, tolhuisjes, meerdere op- en afritten, et cetera. (Davila & Nombela, 2013). Er is echter geen bewijs dat deze test ook effectief heeft plaatsgevonden.

4.5.2 European Truck Platooning Challenge

Tijdens de eerste helft van 2016 was Nederland voorzitter van de Raad van de Europese Unie. Tijdens dit voorzitterschap heeft Nederland de European Truck Platooning Challenge (EUTPC) opgestart. In dit proefproject namen zes vrachtwagenfabrikanten – DAF, Daimler, IVECO, MAN, Scania en Volvo – en vijf landen – Zweden, Denemarken, Duitsland, België en Nederland – deel. De deelnemende vrachtwagenfabrikanten zijn volgens gegevens van Febiac (2019) de vijf grootste leveranciers voor de Belgische vrachtwagenmarkt en IVECO is de zevende grootste leverancier voor België (Tabel 10). Aangezien deze fabrikanten ongeveer 90% van alle ingeschreven trekkers vertegenwoordigen, is het goed dat zij deelnamen aan het proefproject. Op deze manier zijn ze later mogelijk in staat om platooning sneller op de Belgische en Vlaamse markt te brengen.

Merk	Aantal	Relatief aantal tov. totaal
DAF	2434	24,59%
Volvo	1908	19,27%
MAN	1518	15,33%
Scania	1465	14,80%
Mercedes	1224	12,36%
Renault	699	7,06%
IVECO	427	4,31%

Tabel 10: Totaal ingeschreven trekkers (nieuw en tweedehands) in 2018 (Febiac, 2019)

Hoewel er wordt gesproken over een proefproject, is dit niet geheel correct. De EUTPC beschouwt zichzelf als showcase en niet als onderzoeksproject. De deelnemers hebben door dit project een aantal inzichten gekregen in de sterktes en zwaktes van platooning, daarom wordt in deze masterproef de EUTPC wel als proefproject beschouwd.

In het proefproject mocht elke deelnemende vrachtwagenfabrikant een konvooi van vrachtwagens in een platoon uitsturen. Er waren drie 2-truck platoons en drie 3-truck platoons (Figuur 24).



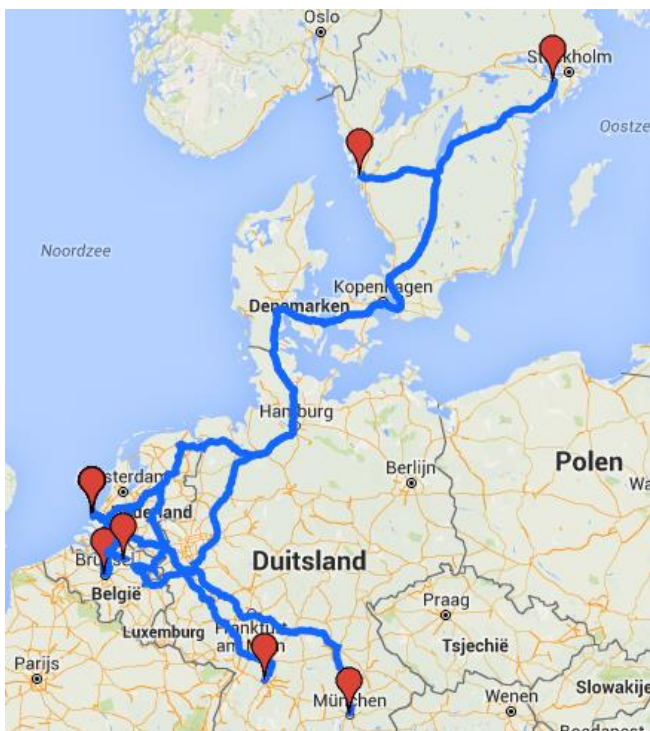
Figuur 24: 2-truck en 3-truck platoon ("Photos DAF," z.j.; "Photos Daimler," z.j.)

Tabel 11 geeft een overzicht van het beginpunt van elke fabrikant. Het eindpunt was voor alle fabrikanten gelijk en bevond zich in de haven van Rotterdam.

Fabrikant	Begin
DAF	Westerlo, BE
Volvo	Göteborg, SE
MAN	München, DE
Scania	Södertälje, SE
Mercedes	Ditzingen, DE
IVECO	Brussel, BE

Tabel 11: Overzicht van beginpunten per fabrikant

Opvallend was dat Volvo en Scania beiden geen rechtstreekse route namen. Volvo ging via Denemarken, Duitsland, Nederland en België naar Rotterdam. Scania ging via Denemarken, Duitsland en België naar Rotterdam. Hieruit kan afgeleid worden dat het doel van de EUTPC was om meerdere types van wegen en verkeerssituaties te testen. Figuur 25 toont alle afgelegde routes van de beginpunten naar Rotterdam.



Figuur 25: Overzicht routes EUTPC ("Routes truck platoons," z.j.)

Het proefproject wilde voornamelijk nagaan hoe de interactie verliep tussen de platoons en de andere weggebruikers. Dit gaat hoofdzakelijk over verkeersveiligheid: hoe het verkeer kan invoegen en hoe inhaalbewegingen veilig kunnen worden uitgevoerd. Tijdens de EUTPC werden geen problemen gerapporteerd inzake invoegen. Automatische inhaalbewegingen werden tijdens de EUTPC niet getest. Het viel op dat de technologie automatisch meer afstand nam op het moment dat een niet-deelnemer in de platoon kwam of wilde komen. Tijdens deze test werden de volgafstanden vergroot, waardoor andere vrachtwagens vaak een kortere volgafstand hadden dan de vrachtwagens in de platoon. Door deze kleinere volgafstand van de normale vrachtwagens is er een potentieel gevaar voor de verkeersveiligheid.

Aan het eind van het onderzoek op 6 april 2016 werden achttien chauffeurs geïnterviewd. Hieruit bleek dat de chauffeurs zich als deel van een geheel voelden. Ze voelden zich verantwoordelijk voor

de andere voertuigen in de platoon. De chauffeurs vonden het belangrijk om de platoon bij elkaar te houden. Nadat de platoon verbroken werd en de chauffeurs weer moesten samenvoegen, dienden de vrachtwagens snelheid te maken om de platoon opnieuw te kunnen vormen. Dit was niet altijd even makkelijk, omdat de chauffeurs niet altijd onderscheid konden maken tussen conventionele trucks en deelnemers aan de platoon. Uit het onderzoek blijkt dat als de volgafstand kleiner wordt – 0,5 sec – het makkelijk is om de platoon intact te houden. Vanaf een volgafstand van 0,8 seconden of meer, moesten de chauffeurs vaker ontkoppelen.

De auteurs van dit onderzoek formuleerden tot slot vier voorwaarden voor het slagen van platooning in de toekomst. Ten eerste heeft platooning pioniers en grensoverschrijdende initiatieven nodig. Hiermee kan de ontwikkeling worden afgestemd op de noden van de gebruikers en kan er een standaard voor alle landen worden ontwikkeld. Deze standaard moet het makkelijker maken om vrachtwagens van verschillende merken en uit verschillende landen met elkaar te koppelen in een platoon. Ten tweede zien Aarts en Feddes (2016) de huidige infrastructuur als beginpunt. Op de wegen moet duidelijk zijn waar platooning mogelijk is. Dit kan door aanduidingen met behulp van borden, maar ook door geavanceerde kaarten op basis van de actuele verkeersstromen. Ten derde moet de aansprakelijkheid van wegbeheerders duidelijk zijn. De auteurs geven als voorbeeld dat als er aanpassingen moeten gebeuren aan de infrastructuur, de wegbeheerders niet mogen afwijken van de standaard die er nu bestaat. Dit moet worden aangepast door de overheden. Ten slotte moet platooning voorlopig opgevolgd worden door de overheid. De onderzoeksvragen kunnen enkel beantwoord worden wanneer er voldoende data beschikbaar is. Aarts en Feddes (2016) stellen dan ook voor om verzamelde data te delen tussen landen.

4.5.3 Enabling Safe Multi-Brand Platooning for Europe (ENSEMBLE)

ENSEMBLE is een Europees project dat gefinancierd wordt door de EU. Het doel van dit programma is om een standaard te kunnen ontwikkelen die door alle vrachtwagenmerken gebruikt kan worden. Hierdoor kan platooning ontstaan tussen voertuigen van verschillende merken ("The Project," z.j.). Naast de standaardisatie van de technologie tussen fabrikanten, wil het project ook onderzoeken hoe platooning veilig kan gebeuren en welke impact platooning heeft op het verkeer en de infrastructuur ("The Project," z.j.).

Het project is gestart in 2018 en loopt door tot en met 2021. Hierdoor zijn er nog geen testen uitgevoerd op test- of publieke wegen. Daarom wordt ENSEMBLE niet verder besproken in deze masterproef.

4.6 Voor- en nadelen voor economie en maatschappij

Het onderzoek van Janssen et al. (2015) heeft de voordelen voor de economie (business) en maatschappij (society) opgelijst. Deze voordelen worden samengevat in Figuur 26. De bovenste helft geeft de voordelen voor de economie – bedrijven – weer, de onderste helft geeft de voordelen voor de maatschappij weer. Op basis van dit model worden de voor- en nadelen voor de economie en de maatschappij verder uitgewerkt. De optimalisatie van het gebruik van activa wordt in deze masterproef buiten beschouwing gelaten, omdat hierover geen verdere literatuur voorhanden is.



Figuur 26: Voordelen van platooning (Aangepast van Janssen et al., 2015)

4.6.1 Brandstofverbruik

Veel onderzoeken halen de reductie van het brandstofverbruik aan als positief gevolg van platooning. Een mogelijke verklaring wordt gegeven doordat het FV in de stroming van het LV zit (Brizzolara & Toth, 2016; Tsugawa et al., 2016; van Vliet, Jansen, & Cornelissen, 2018). Brizzolara en Toth (2016) schatten dat hierdoor een besparing kan zijn tot 15% op het gebied van brandstofverbruik. Tijdens het SARTRE-project werden kleinere besparingen gemeten. Hier lag de reductie voor het LV tussen 2% – 8% en voor het FV tussen 8% – 13% (Janssen et al., 2015). van Vliet et al. (2018) schatten, op basis van schattingen en simulaties voorafgaand aan de EUTPC, de besparing tussen 4,5% – 21%. Tijdens de EUTPC werden geen metingen uitgevoerd met betrekking tot het brandstofverbruik. De EUTPC kon een opportuniteit zijn voor het verzamelen van data met betrekking tot het brandstofverbruik van de deelnemende vrachtwagens in een echte verkeerssituatie.

Hellström et al. (2009) concluderen in hun onderzoek dat een kleine daling in het brandstofverbruik significante gevolgen heeft op de brandstofkosten van transportondernemingen. De impact van deze besparing kan worden berekend onder aanname van een aantal assumpties. Janssen et al. (2015) gaan uit van een gemiddeld brandstofverbruik voor conventionele vrachtwagens van 25 liter/100 km. Echter heeft specifiek gericht en recenter onderzoek naar het gemiddeld brandstofverbruik van Rodriguez, Delgado en Muncrief (2018) aangetoond dat het gemiddeld verbruik voor conventionele EU vrachtwagens op 32,6 liter/100 km ligt. Naast de assumpties over het gemiddeld brandstofverbruik moet een gemiddelde prijs berekend worden voor de brandstof – diesel. Diesel kost gemiddeld, op basis van gegevens van Statbel (2019a), €1,453 per liter over de laatste 2 jaar. Deze masterproef zal een rekenvoorbeeld maken in Tabel 12 op basis van deze assumpties.

Uit dit rekenvoorbeeld blijkt dat de besparing per 100 kilometer in het slechtste geval slechts €0,73/100km is. Uitgaande van het feit dat platooning zal worden ingezet op trajecten met een lange afstand, kan aangenomen worden dat deze vrachtwagens meer dan 100.000 kilometer per jaar zullen

afleggen (Janssen et al., 2015). Op deze manier is de besparing in het slechtste geval 730 euro per jaar.

Onderzoek		Gemiddeld brandstofverbruik vrachtwagen	
		25l/100km	32,6l/100km
Janssen et al. (2015)	LV	0,73 – 2,91	0,95 – 3,79
	FV	2,91 – 4,72	3,79 – 6,16
Brizzolara en Toth (2016)	Globaal	5,45	7,11
van Vliet et al. (2018)	Globaal	1,63 – 7,63	2,13 – 9,95

Tabel 12: Rekenvoorbeeld geldelijke besparing brandstof bij platooning (€/100km)

4.6.2 Arbeidskosten

Platooning kan, zoals reeds aangehaald in sectie 1.1 een oplossing bieden voor de problemen die de laatste jaren opduiken rond het chauffeurstekort. Niet enkel in Europa zijn er problemen om voldoende chauffeurs te vinden, ook in Japan heeft de transportsector te kampen met een tekort aan chauffeurs (Tsugawa et al., 2016). Tsugawa et al. (2016) besluiten dat platooning mogelijk de tekorten aan chauffeurs kan opvangen. Dit komt omdat platooning de capaciteit van chauffeurs beter kan benutten (Janssen et al., 2015). Het onderzoek van Janssen et al. (2015) schetst twee mogelijke scenario's.

Scenario 1 gaat uit van twee vrachtwagens en twee chauffeurs, ook wel het guarded platoon genoemd. In dit systeem kan de chauffeurs van het LV de truck besturen terwijl de chauffeur van het FV andere taken op zich kan nemen. De chauffeur van het FV kan bijvoorbeeld zijn administratie doen of rusttijd nemen. De besparing van de arbeidstijd wordt door Janssen et al. (2015) op 45 minuten per chauffeur per dag geschat. De gebruiksratio van de trucks stijgt door platooning met twee vrachtwagens en twee chauffeurs omdat de beide trucks wel kunnen rijden op het moment dat de chauffeur van het FV een rustpauze neemt.

In scenario 2 zijn er twee trucks die door slechts één chauffeur worden bestuurd, ook wel het single driver platoon genoemd. Het lijkt alsof er een besparing is van de arbeidstijd met 50%. Dit is echter niet mogelijk omdat de vrachtwagen kort bij zijn bestemming nog moet bestuurd worden. Uit de interviews die Janssen et al. (2015) hebben afgenomen blijkt dat de besparing op 15% – 25% van de arbeidstijd geschat wordt.

Het tweede scenario is enkel mogelijk vanaf het moment dat de wetgevers in Europa en de lidstaten het amendement op artikel 8 van het Verdrag van Wenen (1968) hebben opgenomen in de van kracht zijnde regelgeving.

Samengevat zijn er drie types van arbeidskosten die zullen dalen. Aarts en Feddes (2016) vatten deze arbeidskosten samen op basis van de resultaten van de EUTPC. Deze drie types van arbeidskosten zijn:

- Een daling door het alternatieve gebruik van de rijtijd, bijvoorbeeld administratie.
- De rijtijd die gebruikt wordt als rusttijd.
- Geen bestuurder nodig van het FV in de single driver platoon.

4.6.3 Optimalisatie van de wegcapaciteit

Door de inzet van platooning kan het gebruik van de wegcapaciteit in Europa, de VS en Japan verder geoptimaliseerd worden (Janssen et al., 2015; Tsugawa et al., 2016). Dit komt doordat bij platooning de tijd tussen twee voertuigen drastisch verkleind wordt. Tabel 13 toont een overzicht van de werkelijke afstanden tussen voertuigen voor een aantal verschillende tijdspannes. Het valt op dat als er van een normale situatie – 2 seconden of meer tussen voertuigen – naar een platooning situatie – 0,3 seconden tussen voertuigen – overgegaan wordt, de afstand tussen deze voertuigen daalt met 37,7 meter bij 80km/u en 42,5 meter bij 90 km/u. Dit leidt tot een daling van de hoeveelheid weg die twee trucks in beslag nemen met 46% (Janssen et al., 2015). Het onderzoek concludeert dat door inzet van platooning de nood aan extra rijstroken en investeringen in extra weginfrastructuur, uitgesteld kunnen worden (Janssen et al., 2015).

Tijdspanne tussen voertuigen (in seconden)	Snelheid	
	80 km/u	90 km/u
3	66,7	75
2,5	55,6	62,5
2	44,4	50
1,5	33,3	37,5
1	22,2	25
0,5	11,1	12,5
0,3	6,7	7,5
0,2	4,4	5
0,1	2,2	2,5

Tabel 13: Afstanden tussen voertuigen (in meter) per tijdspanne tussen voertuigen (in seconden)

Tijdens de EUTPC werd de wegcapaciteit onderzocht. De onderzoekers namen waar dat conventionele trucks soms dichter bij elkaar reden dan de trucks in de platoons (Aarts & Feddes, 2016). Het gegeven dat conventionele trucks soms dichter op elkaar rijden kan een negatieve impact hebben op congestie. Het is wel gebleken dat als trucks in platoons korter bij elkaar rijden dit een positieve invloed heeft op de wegcapaciteit (Aarts & Feddes, 2016; van Vliet et al., 2018).

4.6.4 Veiligheid en schade

Tegenstanders van platooning zullen de veiligheid voor andere weggebruikers aanhalen als argument tegen het toelaten van platooning op Vlaamse wegen. Er zijn op dit ogenblik enkele onderzoeken uitgevoerd en lopende naar de impact van platooning op de veiligheid. Uit deze onderzoeken kan men besluiten dat platooning weinig impact zal hebben op de veiligheid indien men er veilig mee omgaat.

Janssen et al. (2015) verwachten dat het aantal ongevallen zal dalen door platooning. De auteurs besluiten dit omdat meer dan 90% van de ongevallen veroorzaakt wordt door een menselijke fout (Janssen et al., 2015; van Vliet et al., 2018). Door de inzet van technologieën, zoals V2V en V2I, zullen het aantal ongevallen, veroorzaakt door mensen, dalen met positieve gevolgen voor de maatschappij. Dit is tevens een bevinding van Yue, Abdel-Aty, Wu en Wang (2018). Zij besloten dat technologieën in geconnecteerde voertuigen kunnen leiden tot een daling van het aantal ongevallen met lichte vrachtwagens en conventionele vrachtwagens met respectievelijk 33% en 41%.

Door minder ongevallen daalt het aantal doden en gewonden en zijn er minder files. Dit is ook het doel van het voorstel van resolutie van Van Rompuy et al. (2015). Deze Vlaamse

volksvertegenwoordigers willen met behulp van platooning een antwoord bieden op enkele maatschappelijke problemen, zoals ongevallen en files.

Aarts en Feddes (2016) beschrijven na de EUTPC de mogelijke voordelen van platooning. Daar halen de auteurs de verhoogde veiligheid, als oorzaak van technologieën, zoals adaptieve cruise control en *emergency braking*, aan. van Vliet et al. (2018) beschrijven drie technologieën die reeds wettelijk zijn toegelaten en die een positieve impact hebben op het aantal ongevallen. Deze drie technologieën zijn:

- Advanced Emergency Braking System – dit zorgt ervoor dat een voertuig een waarschuwing geeft of automatisch remt als voertuig het te dicht op een voorligger of object komt (Scania Group, 2013);
- Lane Departure Warning System – zorgt ervoor dat het voertuig op de rijstrook blijft door signalen te geven aan de bestuurder als hij afwijkt van de rijstrook (Boekraad, z.j.);
- Electronic Stability Control – heeft als doel het voertuig te stabiliseren en slippen te voorkomen (Europese Commissie - Mobiliteit en transport, 2019).

Helaas kunnen technologieën ook falen. Dit is een belangrijke gebeurtenis die in het kader van CV werd onderzocht door van Nunen, Koch, Elshof en Krosse (2016). Zij stellen vast dat het wegvallen van V2V kritischer is voor de veiligheid dan het wegvallen van de radarsensor. Een mogelijke oplossing kan een back-up V2V zijn, maar dit is niet aanwezig in elke vrachtwagen in de platoon. Daarom stellen van Nunen et al. (2016) een nieuw veiligheidssysteem voor dat zij *dynamic spacing* noemen. In dit systeem zal de volgafstand vergroten op het moment dat de V2V wegvalt. Tijdens een simulatie met 217 use cases leidde het wegvallen van de V2V in 65% van de gevallen tot een ongeval. Door de volgtijd te verhogen van 0,3 seconden naar 0,9 seconden en de afstand tussen gestopte voertuigen te verhogen van 2,5m naar 10m, kan het aantal verwachte ongevallen dalen van 65% naar 6% (van Nunen et al., 2016).

4.6.5 Emissies en congestie

Emissies vormen in de literatuur het tweede belangrijkste positieve element van platooning. Er is sprake van een oorzakelijk verband tussen brandstofverbruik en emissies. (Janssen et al., 2015; van Vliet et al., 2018). Janssen et al. (2015) besluiten dat elke liter 2,6 kg CO₂ uitstoot. Met de brandstofreducties, aangehaald in sectie 4.6.1, kunnen de CO₂-emissies bijgevolg dalen. Tabel 14 geeft een rekenvoorbeeld analoog met het rekenvoorbeeld uit sectie 4.6.1.

Onderzoek		Gemiddeld brandstofverbruik vrachtwagen	
		25l/100km	32,6l/100km
Janssen et al. (2015)	LV	1,3 – 5,2	1,70 – 6,78
	FV	5,2 – 8,45	6,78 – 11,02
Brizzolara en Toth (2016)	Globaal	9,75	12,72
van Vliet et al. (2018)	Globaal	2,93 – 13,65	3,81 – 17,80

Tabel 14: Rekenvoorbeeld daling CO₂-emissies (in kg/100km)

Als er opnieuw wordt uitgegaan dat een vrachtwagen 100.000km per jaar aflegt, dan is de besparing van emissies in het slechtste scenario 1,3 ton CO₂ per jaar.

Op basis van een simulatie in het onderzoek van Tsugawa et al. (2016) besluiten de onderzoekers dat als 40% van de trucks in een platoon rijden, de CO₂ emissies zullen dalen met 2,1% bij een volgafstand van 10 meter en 4,8% bij een volgafstand van 4 meter. Resultaten over CO₂-emissies in de EUTPC zijn niet beschikbaar omdat daar geen metingen van werden gedaan (van Vliet et al., 2018).

Een belangrijke voorwaarde voor de reductie van CO₂ is dat de voertuigen op een korte afstand elkaar moeten volgen. Dit heeft als gevolg dat de kans op ongevallen groter wordt en er bijgevolg meer congestie ontstaat. Het is dus belangrijk dat er op een voldoende veilige manier wordt omgegaan met platooning om de kans op ongevallen zo klein mogelijk te houden. Dit werd eerder reeds beschreven in sectie 4.6.4.

4.7 Besluit

Deze sectie werd gestart met het definiëren van platooning. Er zijn minimaal twee vrachtwagens nodig, waarbij de eerste altijd als leider zal optreden. De volgende voertuigen volgen de eerste vrachtwagen door inzet van V2V en V2I communicatie, alsook door gebruik te maken van sensoren op de vrachtwagen. De ideale vorm van platooning is het single driver platoon waarbij één bestuurder de controle heeft over één of meerdere trucks. Dit is op dit moment niet mogelijk door de regelgeving van het Verdrag van Wenen (1968). België, Duitsland, Frankrijk, Italië en Oostenrijk hebben een amendement ingediend op dit verdrag dat het mogelijk moet maken om met behulp van technologie een voertuig te besturen. Tot die tijd hangt het van de lidstaten in de EU af om proefprojecten toe te laten. In België is hier al een gedragscode voor opgesteld.

Na enkele testen in Duitsland en de VS, nam België deel aan een Europees project onder leiding van Nederland. Tijdens de EUTPC reden zes platoons door Zweden, Denemarken, Duitsland, België en Nederland heen om platooning in echte verkeerssituaties te kunnen testen. Op dit moment worden verdere proefprojecten in de EU opgezet om de haalbaarheid van platooning te onderzoeken.

Dat Nederland sneller platooning wil inzetten blijkt uit de studie van Janssen et al. (2015). Nederland heeft de visie om in 2020 de eerste commerciële transporten met platooning uit te voeren. Deze implementatie moet gelijdelijk aan gebeuren en zal in eerste instantie gecoördineerd worden door de transportbedrijven zelf. Later kunnen platooning service providers op de markt komen om platooning tussen verschillende bedrijven te orkestreren of kunnen vrachtwagens al rijdend een platoon vormen.

Het doel van platooning is om zo veel mogelijk voordelen te behalen voor de economie en maatschappij. Voor bedrijven zijn de brandstofbesparing en de optimalisatie van de arbeidstijd de belangrijkste voordelen van platooning. Door de brandstofbesparing zal ook de emissieuitstoot dalen. Tegenstanders van platooning zijn bang dat deze zelfrijdende vrachtwagens een negatieve impact zullen hebben op het aantal ongevallen en de files. Uit onderzoek op basis van simulaties en testen in het verkeer blijkt dat platooning een oplossing kan bieden op het fileprobleem. De wegcapaciteit kan beter benut worden, omdat voertuigen minder afstand moeten tussenlaten. Het aantal ongevallen zal dalen, doordat technologische hulpsystemen sneller kunnen ingrijpen bij obstakels of plotselinge stopmanoeuvres.

5 Conclusie

In deze masterproef werd onderzocht welke invloed e-trucks, ecocombi's en platooning hebben op het huidige en toekomstige Vlaamse wegtransportlandschap. Op dit moment hebben ecocombi's de grootste invloed in Vlaanderen. Dit komt doordat de Vlaamse regering ecocombi's al heeft toegelaten tijdens proefprojecten op de Vlaamse wegen. Toch moet er een kanttekening gemaakt worden. Hoewel ecocombi's al het meest geïmplementeerd zijn in Vlaanderen, blijft Vlaanderen op dit gebied achter ten opzichte van buurland Nederland.

Doordat men denkt dat de verkeersveiligheid er op achteruit zal gaan, is er in Vlaanderen een bepaalde terughoudendheid om nieuwe transportconcepten toe te laten. Meerdere onderzoeken in zowel binnen- als buitenland besluiten dat deze drie concepten geen negatieve invloed hebben op de verkeersveiligheid. Sterker nog, er wordt verwacht dat ecocombi's en platooning een sterke positieve invloed zullen hebben op de verkeersveiligheid. Dit komt omdat er door inzet van ecocombi's minder voertuigen nodig zijn om eenzelfde hoeveelheid goederen te verplaatsen. Dit leidt rechtstreeks tot een daling van het aantal voertuigkilometers, hetgeen een positieve impact heeft op de files en het aantal ongevallen. Algemeen gaat men er vanuit dat drie conventionele trucks vervangen kunnen worden door twee ecocombi's. Bij platooning gaat de verkeersveiligheid er op vooruit doordat de voertuigen sneller kunnen ingrijpen dan de chauffeur, door de inzet van communicatietechnologie.

De drie concepten hebben positieve invloeden voor de maatschappij: minder emissies en minder kans op ongevallen. Er wordt van de transportbedrijven verwacht dat ze extra investeringen doen in nieuwe transportconcepten. Deze extra investeringen hebben niet alleen een opbrengst voor de maatschappij, maar hebben ook een opbrengst voor de transporteur. Met ecocombi's en platooning kunnen transporteurs een gelijk volume goederen, met minder inzet van arbeid, vervoeren. De brandstofbesparing leidt rechtstreeks tot minder brandstofkosten. Als de kosten te hoog zijn ten opzichte van de verwachte opbrengst, kan de overheid de aankoop stimuleren door middel van een subsidieprogramma.

In de toekomst is het belangrijk dat Vlaanderen blijft inzetten op nieuwe transportvormen om de competitiviteit van Vlaamse transporteurs te waarborgen. Daarnaast is uit deze masterproef gebleken dat Vlaanderen soms te langzaam vooruitgaat waardoor transporteurs uit andere landen alle *first mover advantages* naar zich toe trekken.

Het literatuuronderzoek werd bij enkele concepten bemoeilijkt door een weinig aan wetenschappelijke literatuur. Toekomstig onderzoek moet nagaan welke effecten e-trucks kunnen hebben op de economie en maatschappij. Deze onderzoeken zijn nu reeds mogelijk op basis van simulaties. Van zodra de ontwikkelaars de e-trucks op de markt brengen, kunnen empirische onderzoeken uitgevoerd worden. Verder moeten empirische studies nagaan of de verwachte effecten in de literatuur van ecocombi's werkelijkheid zijn. Vlaanderen kan hierbij het onderzoek van ARCADIS (2016) gebruiken als basis. Bij platooning moeten meer factoren worden gemeten tijdens proefprojecten. De afgelopen proefprojecten rond platooning hebben een aantal belangrijke factoren, zoals emissies en de impact op andere weggebruikers, niet gemeten.

Bibliografie

- Aarts, L., & Feddes, G. (2016). *European Truck Platooning Challenge*. Retrieved from <http://road-transport-technology.org/Proceedings/HVTT%2014/Aarts%20-%20European%20truck%20platooning%20challenge.pdf>
- ARCADIS. (2016). *Monitoringsonderzoek vervolgproef LZV : resultaten van de vervolgproef met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen*. Retrieved from <http://publicaties.minienm.nl/documenten/monitoringsonderzoek-vervolgproef-lzv-resultaten-van-de-vervolgp>
- Beleidsregel keuring en ontheffingverlening LZV, (2012).
- Bergenheim, C., Ahmed Benmimoun, Q. H., & Robinson, T. (2010). *Challenges of platooning on public motorways*. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/CHALLENGES-OF-PLATOONING-ON-PUBLIC-MOTORWAYS-Bergenheim/c5afe2bfbf86062e00149504fd185c94b8a6d74a>
- Bergenheim, C., Shladover, S., Coelingh, E., Englund, C., & Tsugawa, S. (2012). *Overview of platooning systems*.
- Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject, (2013).
- Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de bescherming van de verkeersinfrastructuur in geval van vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een tweede proefproject, (2018).
- Besluit van de Vlaamse Regering betreffende de erkenning van een bekwaamheidsattest voor het besturen van een langere en zwaardere sleep in het kader van een proefproject, (2014).
- BMVI. (2017). 1st BMVI Startup Pitch: PlatoonConnect [Youtube Video]. Retrieved from <https://youtu.be/UPdjd2aYR9E>
- Boekraad, M. (z.j.). Wat is het Lane Departure Warning Systeem? Retrieved from <https://zelfrijdendeauto.com/wat-is-het-lane-departure-warning-systeem/>
- Brijs, T., Dreesen, A., & Daniels, S. (2008). *Proefproject langere en zwaardere vrachtwagens (LZV's) in Vlaanderen: impact op verkeersveiligheid*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1942/10799>
- Brizzolara, D., & Toth, A. (2016). The emergence of truck platooning. *Baltic Transport Journal*, 58-59.
- Brotherton, T., Gilde, A., & Tomic, J. (2016). 2015 E-Truck Task Force: Key Barriers Affecting E-Truck Adoption, Industry and Policy Implications, and Recommendations to Move the Market Forward. *World Electric Vehicle Journal*, 8(3), 657-665. doi:10.3390/wevj8030657
- Cornu, J., Brijs, K., Daniels, S., Brijs, T., & Wets, G. (2015). *Ex-ante evaluation of Longer and Heavier Vehicles in Flanders – a driving simulator study*.
- Davila, A., & Nombela, M. (2013). *SARTRE: SAfe Road TRains for the Environment*. Retrieved from https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20130204_115624_9945_6_SARTRE_ConferencePaper4.pdf
- De Ceuster, G., Breemersch, T., van Herbruggen, B., Verweij, K. J. H., Davydenko, I. S., Kligender, M., . . . Bereni, M. (2008). *Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC. Final report*.
- De Coster, G. (2019a). Emissie van broeikasgassen door transport. Retrieved from <https://www.milieurapport.be/sectoren/transport/emissies-afval/broeikasgassen>
- De Coster, G. (2019b). Tonkilometers van goederenvervoer. Retrieved from <https://www.milieurapport.be/sectoren/transport/sectorkenmerken/tonkilometers-van-goederenvervoer>
- De Ridder, A., Vandenbroucke, J., Martens, B., De Meyer, J., Peeters, F., & Peumans, J. (2007). Voorstel van resolutie betreffende het opzetten van een proefproject voor ecocombi's. Retrieved from <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1012816>
- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671-679. doi:10.1016/j.ejor.2011.11.010
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (2019). Proefproject 2014. Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/proefproject2014.php>
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (z.j.-a). Proefproject 2018 - Een traject indienen. Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/2018-indienen.php>
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (z.j.-b). Proefproject 2018 - Het netwerk. Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/2018-trajecten.php>
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (z.j.-c). Proefproject 2018 - Opzet. Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/proefproject2018.php>

- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (z.j.-d). Wat is een LZV? Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/wat.php>
- Direction de la Réglementation de la Sécurité routière. (2018). *Projet-pilote véhicules plus longs et plus lourds – Ecocombis en Région wallonne*. Retrieved from https://infrastructures.wallonie.be/files/PDF/ENTREPRISE/1%20RESEAU%20ROUTIER/1%204%20Réglementation%20routière/1%204%202%20Eco%20combi/Rapport%20d'évaluation%20projet-pilote%20VLL_2018_Vfinale%20.pdf
- Dolly Truck [Foto]. (z.j.). Retrieved from <http://www.sergomel.com.br/en/conteudo/dolly-truck.html>
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114. doi:10.1016/j.tre.2011.08.001
- European Automobile Manufacturers Association [ACEA]. (z.j.). Truck Platooning. Retrieved from <https://www.acea.be/industry-topics/tag/category/truck-platooning>
- Europese Commissie. (2018). *Op weg naar geautomatiseerde mobiliteit: een EU-strategie voor de mobiliteit van de toekomst*. Retrieved from <https://www.eumonitor.nl/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vkofgxoczmwv>
- Europese Commissie - Mobiliteit en transport. (2019). Electronic stability control. Retrieved from https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/esave/esafety_measures_known_safety_effects/electronic_stability_control_en
- FEPEG. (z.j.). Productie, verbruik en productiecapaciteit van elektriciteit in België. Retrieved from <https://www.fepeg.be/statistieken-elektriciteit>
- Febiac. (2019). *Inschrijvingen van nieuwe en tweedehandse zware bedrijfsvoertuigen (> 3,5 t.) en trekkers per merk - 2018*.
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer. (2016). Autonome voertuigen: Gedragscode voor testen in België. Retrieved from https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/resources/files/code_of_practice_nl_2016_09.pdf
- Feng, W., & Figliozzi, M. (2013). An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 135-145. doi:10.1016/j.trc.2012.06.007
- Filezwaarte. (2019). Retrieved from <https://www.statistiekvlaanderen.be/filezwaarte#filezwaarte>
- Handleiding Invullen van de tabel voor het aanvragen van een LZV-route (Stap 2). (2018). Retrieved from <https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/docs/lzv-handleiding-excel.pdf>
- Heinen, K. (2016). CityDepot belevt Gentse stadsdiensten met elektrische voertuigen. Retrieved from <https://www.flows.be/nl/logistics/citydepot-belevt-gentse-stadsdiensten-met-elektrische-voertuigen>
- Hellström, E., Ivarsson, M., Åslund, J., Nielsen, L., Fordonssystem, Linköpings, u., . . . Institutionen för, s. (2009). Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption. *Control Engineering Practice*, 17(2), 245-254. doi:10.1016/j.conengprac.2008.07.005
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I., & de Kruijff, J. (2015). *Truck platooning - Driving the future of transportation*. Retrieved from <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:778397eb-59d3-4d23-9185-511385b91509>
- Jorritsma, A. (2018). TLN: flinke toename aantal LZV's in Nederland. Retrieved from <https://www.logistiek.nl/distributie/nieuws/2018/05/tln-flinke-toename-aantal-lzvs-in-nederland-101163497>
- Kast, J., Vijayagopal, R., Gangloff, J. J., & Marcinkoski, J. (2017). Clean commercial transportation: Medium and heavy duty fuel cell electric trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(7), 4508-4517. doi:10.1016/j.ijhydene.2016.12.129
- Klimaat.be. (z.j.). De bijdrage van de belangrijkste sectoren in de totale uitstoot en hun evolutie. Retrieved from <https://www.klimaat.be/nl-be/klimaatverandering/belgie/belgische-uitstoot/belangrijkste-sectoren/>
- Knight, I., Newton, W., & McKinnon, A. (2008). *Longer and/or Longer and Heavier Goods Vehicles (LHVs) – a Study of the Likely Effects if Permitted in the UK: Final Report*.
- Koninklijk besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten., (2012).
- Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg., (1975).
- Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de technische eisen waaraan de auto's, hun aanhangwagens en hun veiligheidstoebehoren moeten voldoen., § 32bis (2010).
- Kot, S. (2015). Cost Structure in Relation to the Size of Road Transport Enterprises. *Promet-Traffic & Transportation*, 27, 387-394. doi:10.7307/ptt.v27i5.1687
- Krosse, B. (2016). 12 Redenen waarom truck platooning een succes wordt. Retrieved from <https://www.tno.nl/nl/tno-insights/artikelen/12-redenen-waarom-truck-platooning-een-succes-wordt/>

- Larsen, R., Rich, J., & Rasmussen, T. K. (2019). Hub-based truck platooning: Potentials and profitability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *127*, 249-264. doi:10.1016/j.tre.2019.05.005
- Lee, D.-Y., Thomas, V. M., & Brown, M. A. (2013). Electric Urban Delivery Trucks: Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Cost-Effectiveness. *Environmental Science & Technology*, *47*(14), 8022-8030. doi:10.1021/es400179w
- Liimatainen, H., van Vliet, O., & Aplyn, D. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy*, *236*, 804-814. doi:10.1016/j.apenergy.2018.12.017
- Lyu, Y., Siddique, A. R. M., Majid, S. H., Biglarbegian, M., Gadsden, S. A., & Mahmud, S. (2019). Electric vehicle battery thermal management system with thermoelectric cooling. *Energy Reports*, *5*, 822-827. doi:10.1016/j.egyr.2019.06.016
- MAN Truck & Bus. (2019). MAN eTRUCK – DE TOEKOMST VAN HET AFLEVERINGSVERKEER IN DE BINNENSTAD BEGINT NU. Retrieved from <https://www.truck.man.eu/be/fl/man-etruck.html>
- McManus, M. C. (2012). Environmental consequences of the use of batteries in low carbon systems: The impact of battery production. *Applied Energy*, *93*, 288-295. doi:10.1016/j.apenergy.2011.12.062
- Meers, D., van Lier, T., & Macharis, C. (2018). Longer and heavier vehicles in Belgium: A threat for the intermodal sector? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *61*, 459-470. doi:10.1016/j.trd.2016.08.007
- Ministerieel besluit betreffende de vergunning voor en de evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject, (2014).
- Ministerieel besluit betreffende het basisnetwerk, de voertuigen, de aantakkingstrajecten en de vergunningen voor LZV in het kader van een tweede proefproject, (2018).
- Mortelmans, K. (2019). AB Inbev gaat cafés in steden elektrisch beleveren. Retrieved from <https://www.nieuwsbladtransport.nl/wegvervoer/2019/11/29/ab-inbev-gaat-cafes-in-steden-elektrisch-beleveren/?gdpr=accept>
- Nesterova, N., Quak, H., Balm, S., Roche-Cerasi, I., & Tretvik, T. (2013). *FREVUE D1.3 State of the art city logistics and EV State of the art of the electric freight vehicles implementation in city logistics*. Retrieved from
- Nikola Motor Company (2019). Introducing the hashtag#NikolaTre BEV aimed for the European market... [LinkedIn]. Retrieved from <https://www.linkedin.com/company/nikola-motor-company/>
- Ortega, A., Vassallo, J. M., Guzmán, A. F., & Pérez-Martínez, P. J. (2014). Are Longer and Heavier Vehicles (LHVs) Beneficial for Society? A Cost Benefit Analysis to Evaluate their Potential Implementation in Spain. *Transport Reviews*, *34*(2), 150-168. doi:10.1080/01441647.2014.891161
- Parrado, N., & Donoso, Y. (2015). Congestion Based Mechanism for Route Discovery in a V2I-V2V System Applying Smart Devices and IoT. *Sensors*, *15*, 7768-7806. doi:10.3390/s150407768
- Partijen bij het verdrag inzake wegverkeer. (2018). Retrieved from https://nl.wikipedia.org/wiki/Verdrag_van_Wenen_inzake_het_wegverkeer
- Pelletier, S., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). 50th Anniversary Invited Article—Goods Distribution with Electric Vehicles: Review and Research Perspectives. *Transportation Science*, *50*(1), 3-22. doi:10.1287/trsc.2015.0646
- Photos DAF. (z.j.). Retrieved from <https://www.eutruckplatooning.com/Press/Photos+DAF/default.aspx>
- Photos Daimler. (z.j.). Retrieved from <https://www.eutruckplatooning.com/Press/Photos+Daimler/default.aspx>
- Piovaccari, G. (2019). CNH Industrial's Iveco unveils first electric truck in partnership with Nikola. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-cnh-industrial-nikola/cnh-industrials-iveco-joins-the-electric-truck-race-with-nikola-partnership-idUSKBN1Y62FR>
- Plötz, P., Gnann, T., Jochem, P., Yilmaz, H. Ü., & Kaschub, T. (2019). Impact of electric trucks powered by overhead lines on the European electricity system and CO2 emissions. *Energy Policy*, *130*, 32-40. doi:10.1016/j.enpol.2019.03.042
- Polders, E., Cornu, J., Carpentier, A., Brijs, K., & Daniels, S. (2016). *Proefproject Langere en Zwaardere Vrachtwagencombinaties In Vlaanderen: Evaluatie van de effecten op verkeersveiligheid*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1942/23322>
- The Project. (z.j.). Retrieved from <https://platooningensemble.eu/project>
- Rodriguez, F., Delgado, O., & Muncrief, R. (2018). *Fuel consumption testing of tractor-trailers in the European Union and the United States*.
- Routes truck platoons. (z.j.). Retrieved from <https://www.eutruckplatooning.com/Press/Routes+truck+platoons/default.aspx>
- Saeednia, M., & Menendez, M. (2016). Analysis of Strategies for Truck Platooning: Hybrid Strategy. *Transportation Research Record*, *2547*(1), 41-48. doi:10.3141/2547-07

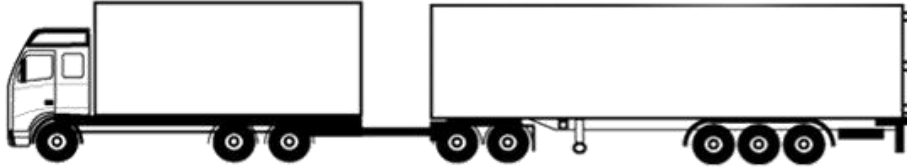
- Saeednia, M., & Menendez, M. (2017). A Consensus-Based Algorithm for Truck Platooning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(2), 404-415. doi:10.1109/TITS.2016.2579260
- Sanchez Rodrigues, V., Piecyk, M., Mason, R., & Boenders, T. (2015). The longer and heavier vehicle debate: A review of empirical evidence from Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 114-131. doi:10.1016/j.trd.2015.08.003
- Scania Group. (2013). Reduced collision risk with Scania AEB system. Retrieved from <https://www.scania.com/group/en/reduced-collision-risk-thanks-to-scania-aeb-braking-system/>
- Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520. doi:10.1287/trsc.2013.0490
- Sen, B., Ercan, T., & Tatari, O. (2017). Does a battery-electric truck make a difference? – Life cycle emissions, costs, and externality analysis of alternative fuel-powered Class 8 heavy-duty trucks in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 141, 110-121. doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.046
- Slegers, C. (2018). Transportkost stijgt in 2019 met zo'n 6%. Retrieved from <http://www.logistiek.be/transport-en-distributie/transportkost-stijgt-in-2019-met-zon-6>
- Society of Automotive Engineers [SAE]. (2018). SAE J3016™ Levels of driving automation. In. Statbel. (2019a). Gemiddeld officieel tarief van de aardolieproducten in euro. Retrieved from <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=3a4cfb82-0c67-4f97-94f3-58b2509763ab>
- Statbel. (2019b). Grotte van het voertuigenpark. Retrieved from <https://statbel.fgov.be/nl/themas/mobiliteit/verkeer/voertuigenpark#figures>
- Struyck, L. (2019). Vanaf april 2020 belevert AB InBev cafés met allereerste Belgische e-truck. Retrieved from https://ab-inbev.be/nl_BE/news/vanaf-april-2020-belevert-ab-inbev-cafes-met-allereerste-belgische-e-truck
- Tanco, M., Cat, L., & Garat, S. (2019). A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1354-1367. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.168
- Tesla. (z.j.). Tesla Semi. Retrieved from <https://www.tesla.com/semi>
- Tractatenblad van het Koninkrijk der Nederlanden. (2016). Retrieved from <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/trb-2016-33.html#d16e2948>
- Tsugawa, S., Jeschke, S., & Shladover, S. E. (2016). A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(1), 68-77. doi:10.1109/tiv.2016.2577499
- Tussentijdse evaluatie van het vervoer met langere en zwaardere slepen in het kader van een proefproject. (2016). Retrieved from https://www.mobielvlaanderen.be/lzv/docs/evaluatie_lzv_20160809.pdf
- Unie van Professionele Transporteurs en Logistieke ondernemers [UTPR]. (z.j.). LZV Vlaanderen. Retrieved from <https://www.uptr.be/index.php/nl/homepagina/24-informatie-nl/393-lzv-vlaanderen>
- Value Chain. (2019). Transport Lux werkt voortaan papierloos dankzij nieuw WMS [Foto]. Retrieved from <https://www.valuechain.be/nl/nieuwsbrief/detail/7072/transport-lux-werkt-voortaan-papierloos-dankzij-nieuw-wms>
- van de Weijer, B. (2017). Tesla heeft zijn e-truck, maar veel weten we nog niet. Retrieved from <https://www.volkskrant.nl/economie/tesla-heeft-zijn-e-truck-maar-veel-weten-we-nog-niet~b6eb7384/>
- Van Dooren, P. (2018a). Sitra plaatst eerste Belgische bestelling Teslatruck. Retrieved from <https://www.flows.be/nl/transport/sitra-plaatst-eerste-belgische-bestelling-teslatruck>
- Van Dooren, P. (2018b). Vervoerders Benelux verhogen tarieven in 2019 met 1 à 5 %. Retrieved from <https://www.flows.be/nl/transport/vervoerders-benelux-verhogen-tarieven-2019-met-1-5>
- Van Dooren, P. (2019). AB InBev levert in steden vanaf april met eerste elektrische truck. Retrieved from <https://www.flows.be/nl/transport/ab-inbev-levert-steden-vanaf-april-met-eerste-elektrische-truck>
- van Nunen, E., Koch, R., Elshof, L., & Krosse, B. (2016). *Sensor safety for the european truck platooning challenge*. Paper presented at the Intelligent Transportation Systems World (ITS), 2016 23rd World Congress on.
- Voorstel van resolutie betreffende de geautomatiseerde, gemotoriseerde voertuigen (driverless vehicles), (2015).
- van Vliet, A., Jansen, R., & Cornelissen, J. (2018). *Truck platooning: An update after the european truck platooning challenge*. Paper presented at the International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technology HVTT15. Rotterdam.

- Vanacker, L. (2018). Belgische transportbedrijven trekken prijzen op. Retrieved from <https://www.tijd.be/ondernemen/logistiek/belgische-transportbedrijven-trekken-prijzen-op/10071307.html>
- Verhagen, N. (2018). *Truck platooning: een economisch haalbare kaart?* Leuven : KU Leuven. Faculteit Ingenieurswetenschappen,
- Verweij, K., Davydenko, I., & Zomer, G. (2011). Estimation of the impact of long and heavy vehicles on future European transport demand and modal shift. *HVTT11*, 11. Retrieved from <http://road-transport-technology.org/Proceedings/HVTT%2011/Papers/VerWeij%20-%20Estimation%20of%20the%20Impact%20of%20Long%20and%20Heavy%20Vehicles%20on%20Future%20European%20Transport%20Demand%20and%20Modal%20Shift.pdf>
- Vlaamse Overheid. (z.j.). Subsidie voor ecologisch en veilig transport. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/subsidie-voor-ecologisch-en-veilig-transport>
- VREG. (z.j.). Evolutie energieprijzen en distributienettarieven. Retrieved from <https://www.vreg.be/nl/evolutie-energieprijzen-en-distributienettarieven>
- Weyts, B. (2017). Beleidsbrief Mobiliteit en Openbare werken 2017-2018. Retrieved from <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1340568>
- Weyts, B. (2018). Beleidsbrief Mobiliteit en Openbare Werken 2018-2019. Retrieved from <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1427803>
- Yue, L., Abdel-Aty, M., Wu, Y., & Wang, L. (2018). Assessment of the safety benefits of vehicles' advanced driver assistance, connectivity and low level automation systems. *Accid Anal Prev*, 117, 55-64. doi:10.1016/j.aap.2018.04.002

Bijlagen

1. Mogelijke voertuigcombinaties in België

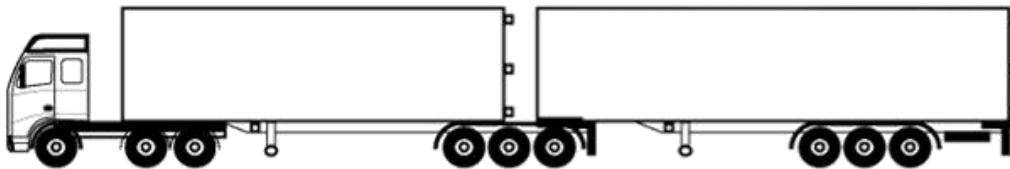
Vrachtwagen + dolly + oplegger



Vrachtwagen + aanhangwagen



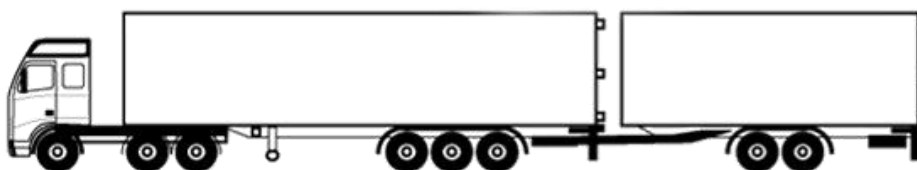
Trekker + oplegger (met oplegpunt) + oplegger



Vrachtwagen + middenas-aanhangwagen
+ middenas-aanhangwagen



Trekker + oplegger + middenas-aanhangwagen



Vrachtwagen + oplegpunt + oplegger



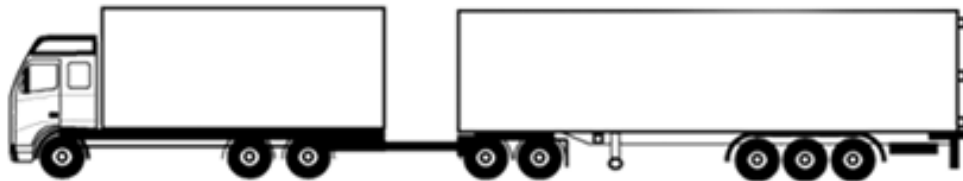
Figuur 27: Mogelijke voertuigcombinaties in België

5 ("Koninklijk besluit betreffende langere en zwaardere slepen in het kader van proefprojecten.," 2012)

2. Voertuigcombinaties in Vlaanderen



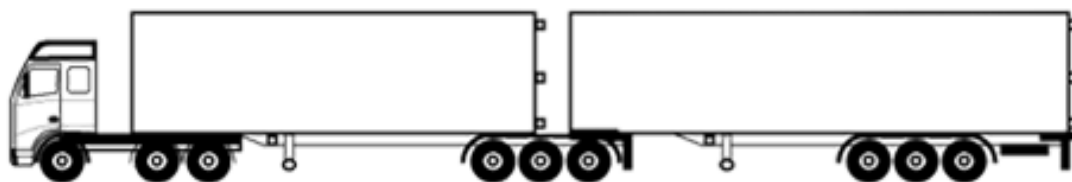
trekker-oplegger-aanhangwagen



vrachtwagen-dolly-oplegger



vrachtwagen-aanhangwagen-aanhangwagen



trekker-oplegger-oplegger

Figuur 28: Voertuigcombinaties in Vlaanderen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, z.j.-d)

3. Sjabloon aanvraag traject LZV – Dashboard

Aanvrager			
Naam (firma)			
Ondernemingsnr			
Straat +nr + postbus			
Postcode		Gemeente	
e-mail			
Contactpersoon			
Telefoon			

Traject - Heen			
<u>Aantakking Basisnetwerk</u>			
Snelweg			
Nr Op- en afritten complex			
Naam Op- en afritten complex			
<u>Bestemming</u>			
Bedrijf:			
Straat + nr (of kaai)			
Postcode		Gemeente	
URL Google maps			

Berekening Scores - Traject Heen		
Gevaarlijk_punt	0,00	
Kruising	0,00	
Lopende_sectie	0,00	
Oversteek_in_Zone_30	0,00	
Zone_30	0,00	
TOTAAL	0,00	OK

Traject - Terug			
<u>Vertrekpunt</u>			
Bedrijf:			
Straat + nr (of kaai)			
Postcode		Gemeente	
<u>Aantakking Basisnetwerk</u>			
Snelweg			

Berekening Scores - Traject Terug		
Gevaarlijk_punt	0,00	
Kruising	0,00	
Lopende_sectie	0,00	
Oversteek_in_Zone_30	0,00	
Zone_30	0,00	

Nr Op- en afritten complex	
Naam Op- en afritten complex	
URL Google maps	

TOTAAL	0,00	OK

Controle aanvraag:

Aanvrager	Niet OK
Traject Heen- Dashboard	Niet OK
Traject Heen- Route	Niet OK
Traject Heen - Score	OK
Traject Terug- Dashboard	Niet OK
Traject Terug- Route	Niet OK
Traject Terug - Score	OK
Datum aanvraag	
Totaal Score	0

Indienen dossier

Check document is OK	
Sla dit bestand op met als naam	___nr_.xlsx
Mail naar:	lzv@mow.vlaanderen.be
Onderwerp:	Aanvraag LZV route - 0
Bijlage	Voeg dit bestand als bijlage toe!!!

4. Sjabloon aanvraag traject LZV – Heen/Terug

INVULFORMULIER ROUTE HEEN

<u>Basisgegevens</u>		<u>TUSSENTOTALEN</u>			
Van		<u>Type</u>	<u>Deelscore</u>	<u>Aantal</u>	<u>Gem</u>
		Gevaarlijk_punt	0,00	0 stuks	
		Kruising	0,00	0 stuks	
		Lopende_sectie	0,00	0,00 km	
URL Google maps	0	Oversteek_in_Zone_30	0,00	0 stuks	
		Zone_30	0,00	0 stuks	
		TOTAAL	0,00		

Id	Route	Beschrijving Route	Type	Verfijning 1	Verfijning 2	Waarde (lengte, aantal, score)	Punten
				<i>Keuze lijst</i>	<i>Keuze lijst</i>	<i>Keuze lijst</i>	<i>Getal invullen</i>
1							
2							
3							

5. Borden Zone 30



6. Vragenlijst interview LZV

Algemeen en proefproject

- Hoe is de algemene houding van uw bedrijf ten aanzien van LZV's?
- Wat heeft uw bedrijf aangezet om deel te nemen aan het proefproject in Wallonië?
- Wat is de reden dat er op dit moment geen gebruik wordt gemaakt van de LZV?
- Welk type transporten werd beoogd om uit te voeren met de LZV?
- Hou zou u het rendement voor uw bedrijf inschatten mochten deze transporten worden uitgevoerd met een LZV?
- Hoe zou u het rendement voor de maatschappij inschatten mochten deze transporten worden uitgevoerd met een LZV?

Project en implementatie van de LZV

- Kan u een inschatting maken van de totale investering die uw bedrijf gedaan heeft in de LZV?
 - o Omvat: Voertuig, opleiding chauffeur, administratie...
- Hoe heeft uw bedrijf de aanvraagprocedure ervaren?
- In Vlaanderen kan ook een aanvraag worden ingediend om transporten uit te voeren met een LZV. Zou uw bedrijf overwegen om in Vlaanderen transporten uit te voeren met een LZV? Waarom wel/niet?

Toekomst

- Wat zou moeten veranderen in België/Vlaanderen/Wallonië opdat uw bedrijf makkelijker een LZV kan inzetten?
- Hoe ziet u de toekomst van de LZV (voor uw bedrijf)?

7. SAE levels of automation



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

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

(Society of Automotive Engineers [SAE], 2018)