

Fleet replacement strategy during a sustainable transition

- Helping logistics companies drive more sustainably -

Anton Smidts

Promotor **prof. dr. Christof Defryn**

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Master in de Organisatie en Management
Faculteit Bedrijfswetenschappen en Economie | Antwerpen, academiejaar 2023 - 2024



**Universiteit
Antwerpen**

ABSTRACT

In dit onderzoek werd er een single-case study uitgevoerd op basis van kwantitatieve analyses en kwalitatieve interviews. De studie tracht de vraag: “Hoe kan het uitvoeren van een Life Cycle Cost Analysis (LCCA) en een Total Cost of Ownership (TCO) analyse logistieke bedrijven ondersteunen bij het vormgeven van hun fleet replacement strategy?” te beantwoorden. Desondanks er in deze thesis wordt uitgegaan dat deze marktconforme cijfers zijn, dienen logistieke spelers deze cijfers niet als waarheidsgetrouw te nemen. Elke individuele vlootbeheerder moet de primaire data van zijn eigen wagenpark raadplegen en de berekening in deze masterproef dienovereenkomstig aanpassen.

Uit het onderzoek blijkt dat logistieke bedrijven een inhaalbeweging moeten maken bij het elektrificeren van hun wagenpark van heavy-duty-vehicle's. Om bij te dragen aan de doelstelling van een klimaatneutraal EU alsook aan de mogelijke interne duurzaamheidsambitie, dient men na te gaan hoe men systematisch kan overschakelen naar ZEV's. Aangezien een beslissing over het wagenpark een directe impact heeft op zowel de prestaties, efficiëntie als het serviceniveau van een logistiek bedrijf, is er nood aan een weloverwogen en theoretisch onderbouwde fleet replacement strategy.

Het onderzoek concludeert dat de combinatie van de Life Cycle Cost Analysis en de TCO-analyse voldoende informatie genereert voor logistieke wagenparkbeheerder om hun fleet replacement strategy onderbouwd vorm te geven. Wegens de impact van de beslissing op de resultaten van de onderneming alsook de invloed van de variabelen op de resultaten, is het van essentieel belang om als logistieke speler de analyses uitsluitend te voeden met zeer betrouwbare (primaire) data.

Een uitvoering van een LCCA stelt wagenparkbeheerders in staat om een onderbouwde optimale vervangingsleeftijd (economic service life) te bepalen. Desondanks de LCCA resulteerde in een optimale vervangingsleeftijd van negen jaar, worden logistieke spelers aanbevolen om wegens mogelijke duurzaamheidsambities, de technologievoortgang en de niet in het model opgenomen “obsolescence”- en faalkosten hun trekker te vervangen na zeven of zelfs zes jaar. Een genuanceerde interpretatie van de LCCA-resultaten is essentieel en stelt de wagenparkbeheerder in staat om de theoretische oplossing te modificeren aan eigen ambities of andere in de praktijk heersende factoren.

Vervolgens blijkt uit de TCO-analyse dat er in de huidige marktsituatie, puur op vlak van rollend materiaal, reeds een TCO-pariteit werd bereikt tussen ICE-trekkers en BEV's. Op basis van dit resultaat worden logistieke spelers aangeraden om voor elke toekomstige ICE-trekker die zijn economic service life bereikt, te overwegen deze te vervangen door een duurzame elektrische opvolger.

EXECUTIVE SUMMARY

In this research, a single-case study was conducted based on both quantitative analysis and qualitative interviews. The study attempts to answer the question: “How can conducting a Life Cycle Cost Analysis (LCCA) and a Total Cost of Ownership (TCO) analysis support logistics companies in shaping their fleet replacement strategy?”. Despite assuming that figures used in this thesis are market-based figures, logistics players should not take these figures as truthful. Each individual fleet operator should consult the primary data of its own fleet and adjust the calculation in this thesis accordingly.

The study shows that logistics companies need to catch-up with electrifying their fleets of heavy-duty vehicles. To contribute to the goal of a climate-neutral EU as well as to the possible internal sustainability ambition, logistics players should consider how to systematically switch to ZEVs. As a fleet decision has a direct impact on both the performance, efficiency and service level of a logistics company, there is a need for a well-considered and theoretically based fleet replacement strategy.

The study concludes that the combination of Life Cycle Cost Analysis and TCO-analysis generates sufficient information for logistics fleet managers to shape their fleet replacement strategy in an informed way. The importance of including discounting cashflows, the interest cost and inflation in both analysis, are often forgotten by logistic companies. Because of the impact of the decision on the company's results as well as the influence of the variables on the results, it is essential for logistics players to feed the analyses with only highly reliable (primary) data.

An LCCA determines, based on knowledge from engineering economics, when in the lifetime of an investment the cumulative ‘operating’ and ‘ownership’ costs are minimum (Grandsberg, 2015, p. 32). By calculating the ‘equivalent annual cost’ (EAC) for each year up to the end of the physical age of the asset, one can determine the ESL based on the local minimum. The economic service life is the number of years n where the EAC is the minimum.

An implementation of an LCCA allows fleet managers to determine an informed optimal replacement age (economic service life). Despite the fact that the LCCA resulted in an optimal replacement age of nine years, logistics players are recommended to replace their tractor after seven or even six years due to possible sustainability ambitions, technology advances and ‘obsolescence’ and failure costs that are not included in the model. A nuanced interpretation of the LCCA-results is essential and allows the fleet manager to modify the theoretical solution to suit their own ambitions or other factors prevailing in practice.

A TCO-analysis is a financial analysis that helps to determine the direct and indirect costs of a product. It goes beyond just the purchase price or cost of implementation but includes the costs of all phases of ownership: acquisition, operating costs such as maintenance and depreciation and opportunity costs. The goal of this analysis in this research is to validate whether there is already a TCO-parity between ICE-trucks and BEV's.

An implementation of the Total Cost of Ownership analysis shows that in the current market situation, purely in terms of rolling equipment, TCO-parity has already been achieved between ICE tractors and BEV's. Based on this result, logistics players are advised to consider replacing it with a sustainable electric successor for every future ICE-tractor that reaches its economic service life.

As the current fleet replacement strategy of logistics companies is mainly based on practical knowledge that often did not take inflation and an interest cost into account, fleet managers are recommended to shape their strategy based on a Life Cycle Cost analysis.

As the TCO analysis identified that the current effective government support measures are crucial for achieving TCO parity, logistics players are advised to closely monitor the market situation. Since the current support measures are not structural, making future decreases in the purchase value of BEVs crucial to ensure TCO parity.

Governments should also closely monitor the price evolution on the market and then adjust their support measures accordingly. For instance, the TCO analysis identified that if the government discontinues the mileage charge exemption for BEVs within five years, the TCO parity of investments already made may be compromised. To avoid this uncertainty, this should be communicated transparently.

One can conclude that a faster replacement age of six or seven years implies that a more sustainable successor with a lower Total Cost of Ownership can come into use faster. This in turn is important for logistics companies wishing to profile themselves as sustainable logistics partners as well as for achieving the European Union's Fit for 55 targets.

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Tabel 1: Schatting jaarlijkse herverkoopwaarde	25
Tabel 2: Finale onderhouds- en herstellingskosten.....	29
Tabel 3: Resultaten LCCA.....	31
Tabel 4: Gegevens TCO-berekening	35
Figuur 1: Vision zero plan (Houston city department, n.d)	11
Figuur 2: Vision zero plan (Houston city department, n.d)	11
Figuur 3: SDG's (United Nations, n.d).....	12
Figuur 4: Broeikasgasemissies door transport en andere sectoren in de EU-27 (miljoen ton CO ₂ e), aandeel in emissies en verandering tussen 1990 en 2020 (%) (European Environment Agency, 2023)	13
Figuur 5: Tendensen in CO ₂ -emissies van zware bedrijfsvoertuigen in de EU, 1990-2020 (European Environment Agency, 2022).....	13
Figuur 6: Decompositieanalyse van de CO ₂ -uitstoot van vrachtwagens in de EU-27, 2000-2019 - procentuele bijdrage van verschillende factoren (European Environment Agency, 2022)	14
Figuur 7: Hernieuwbare energie (Nova-Institute, 2022)	15
Figure 8: Equipment life definitions (Grandsberg et al., 2006)	20
Figuur 9: Annual worth curves of cost elements that determine the economic service life (Tarquin & Blank, 2012)	21
Figuur 10: Exponentiële functie met $y = 2.181,9e^{0,1753x}$ met y = gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten en x = aantal dienstjaar	27
Figuur 11: Verloop equivalent annual cost en interestkost	32
Figuur 12: Verloop waardevermindering en onderhouds- en herstellingskosten.....	33
Figuur 13: Progression from proposals to economic evaluation to selection (Tarquin & Blank, 2012)	38
Figuur 14: Resultaat TCO-analyse.....	38
Figuur 15: Visualisatie ontwikkelde TCO-model.....	39
Figure 16: TCO-resultaat zonder vrijstelling voor trekker die jaarlijks 100.000 kilometer rijdt.	41
Figuur 17: TCO-resultaat zonder stimuleringsmaatregelen voor trekker die jaarlijks 150.000 kilometer rijdt. ...	41
Figuur 18: TCO parity in years by use case in Europe (Mckinsey and Company, 2022)	42
Figuur 19: By 20235, majority of new trucks will be electric in US, EU & China (Mckinsey and Company, 2022) 43	
Figuur 20: Road freight transport by age of vehicle in 2022 expressed in % share in vehicle-kilometres *Malta excluded (Eurostat, 2023)	44
Figure 21: Sales of heavy duty trucks by powertrain (ICCT,2024)	45

INHOUD

Abstract	3
Executive summary	4
Figuren- en tabellenlijst.....	6
Begrippenlijst	9
1 Managementbeslissing	10
1.1 Sustainable development goals (SDGs)	11
1.2 Transport en milieu in Europa	12
1.3 Fit for 55.....	15
2 Onderzoeksvraag	16
2.1 Afbakening onderzoek	16
3 Methodologie.....	17
3.1 Single case study.....	17
3.2 Data collectie	17
4 Theoretisch kader	19
4.1 Asset management	19
4.2 Replacement strategy.....	19
4.3 Life cycle cost analysis	20
5 Life cycle cost analysis (LCCA).....	22
5.1 Overzicht kosten	24
5.1.1 Aankoopwaarde	24
5.1.2 Marktwaarde.....	24
5.1.3 Onderhouds- en herstellingskosten	25
5.1.3.1 Eerste databewerking: gelijke kilometerstand	26
5.1.3.2 Tweede databewerking: extractie valutadepreciatie	26
5.1.3.3 Derde databewerking: voorspelling onderhouds- en herstellingskosten	26
5.1.3.4 Vierde databewerking: kerngegevens	28

5.1.4	Interestkosten	29
5.1.5	Niet opgenomen kosten	30
5.2	Optimale vervangingsleeftijd.....	30
5.3	Evaluatie uitkomst LCCA	32
6	Elektrische challenger	34
6.1	TCO-pariteit.....	34
6.2	Overzicht kosten	35
6.2.1	Algemene condities	36
6.2.2	Aankoopwaarde	36
6.2.3	Onderhouds- en herstellingskosten	36
6.2.4	Brandstof- en elektriciteitsprijs	37
6.2.5	Brandstof- en elektriciteitsverbruik	37
6.2.6	Belastingkost voor traditionele ICE-trekkers.....	37
6.3	TCO berekening	38
6.4	Evaluatie uitkomst TCO-analyse	40
6.4.1	Belang van tussenkomst overheid.....	40
6.4.2	Roadmap to net-zero emissions.....	42
7	Managementbeslissing in de praktijk	44
7.1	Optimale vervangingsleeftijd traditionele ICE-trekker (defender).....	44
7.1.1	Tendens in de praktijk	44
7.1.2	Trends in de praktijk.....	44
7.2	Investeren in elektrische trekker (challenger).....	45
8	beleidsaanbevelingen en conclusie	46
9	Bibliografie	48
10	Bijlage.....	53

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Omschrijving
Battery Electric Vehicle (BEV)	= verwijst naar een trekker die wordt aangedreven door een grote batterij.
Challenger	= asset dat wordt vergeleken met een asset dat momenteel nog in dienst is, namelijk de "defender".
Defender	= bestaand asset die wordt vergeleken met een mogelijk alternatief genaamd de "challenger".
Fleet replacement strategy (wisselstrategie)	= een plan dat organisaties helpt om hun wagenpark efficiënt te beheren door de optimale levensduur van voertuigen te bepalen en vervolgens een vervanger te selecteren. Het omvat het tijdig vervangen en aankopen van voertuigen om kosten te minimaliseren en de betrouwbaarheid en veiligheid te waarborgen.
Heavy-duty vehicles (HDV's)	= wegvoertuigen die worden gebruikt om zware ladingen of veel passagiers te vervoeren. Hieronder vallen vrachtwagens zwaarder dan 3,5 ton (beladen) en bussen.
Herstellingskosten	= kosten die voortvloeien uit herstelwerkzaamheden die plaatsvinden als een bedrijfsmiddel kapot gaat, beschadigd raakt of stopt met werken.
Internal Combustion Engine (ICE)	= verwijst naar een trekker die bestaat uit door brandstof-aangedreven verbrandingsmotoren.
Onderhoudskosten	= kosten die voortvloeien uit routinematige activiteiten aan bedrijfsmiddelen die plaatsvinden om schade te voorkomen en de levensduur te verlengen.
Zero-Emission Vehicle (ZEV)	= verwijst naar een trekker dat geen schadelijke stoffen uitstoot via de uitlaatpijp. Een BEV is hier een voorbeeld van.

1 MANAGEMENTBESLISSING

Een effectieve vloot is van vitaal belang voor een transportbedrijf. Om dit te bereiken zetten logistieke bedrijven in op fleet management of wagenparkbeheer.

Wagenparkbeheer is de manier waarop een organisatie zijn wagenpark gezond houdt, zowel nu als in de toekomst. Enkele facetten die behoren tot het fleet management zijn: het aankopen van voertuigen, (preventief) onderhoud van de vloot, brandstofprogramma's implementeren, voldoen aan regelgeving en operationele kosten verlagen. Alle facetten van wagenparkbeheer hebben echter hetzelfde doel: de volledige levenscyclus van het wagenpark van een organisatie beheersen (IBM, 2023).

Binnen het fleet management is het bepalen wanneer een voertuig best vervangen moet worden een belangrijke managementbeslissing, de levensduur heeft namelijk een grote impact op de operationele kosten. Dit vraagstuk wordt omschreven als het "fleet replacement problem" (Redmer, 2016).

Aangezien een beslissing over het wagenpark een directe impact heeft op zowel de prestaties, efficiëntie als het serviceniveau van een logistiek bedrijf, dient een weloverwogen beslissing gemaakt te worden (Redmer, 2016, p. 18). Ook onderzoekers Blauwens et al., voormalige leden van het Departement Transport en Regionale Economie van de Universiteit van Antwerpen, vermelden dat het bepalen van een fleet replacement strategy een moeilijk gegeven is (2020). Naast de complexiteit is het vooral een zeer belangrijke beslissing met grote gevolgen.

Het toepassen van theoretische concepten op de praktijk kan waardevolle inzichten en ondersteuning geven bij het beantwoorden van het fleet replacement problem. In de literatuur wordt het belang van een "fleet replacement strategy" aangehaald.

Nadat de ideale vervangingsleeftijd is bepaald, is er nood aan het evalueren van alternatieve opvolgers. Wegens de heersende wereldwijde klimaatcrisis wordt er momenteel verwacht dat emissievrijtrekkers de uitstoot van de transportsector sterk kan doen reduceren. Een Total Cost of Ownership analyse kan aangeven of het al dan niet interessant is om reeds te investeren in deze duurzame technologie.

1.1 Sustainable development goals (SDGs)

Naast een effectief wagenpark dient een wagenpark anno 2024 ook duurzaam te zijn. De dringende noodzaak om de wereldwijde milieucrisis aan te pakken, heeft velen in de sector ertoe aangezet om snel milieuvriendelijker wagenparkbeheerpraktijken in te voeren. Een duurzaam wagenpark kan resulteren in lagere operationele kosten, een betere merkreputatie en ervoor zorgen dat men proactief voldoet aan de nieuwste regelgeving.

Duurzaam fleet management heeft de mogelijkheid om bij te dragen aan de dertiende Sustainable Development Goal (SDG) genaamd "Climate action". Door efficiëntere of ecologische voertuigen te introduceren tot hun wagenpark, kunnen logistieke bedrijven bijdragen aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en zo de klimaatverandering tegengaan.



Figuur 1: Vision zero plan
(Houston city department, n.d)

Naast de milieukosten veroorzaakt transport ook andere externe kosten. De Europese Commissie schatte in 2019 dat de totale externe kosten van vervoer 987 miljard euro bedroegen in 2016, waarvan ongevalskosten goed zijn voor 28,6% van deze kosten en congestie op de wegen voor 27,4%. Het aantal dodelijke verkeersslachtoffers veroorzaakt door wegtransport werd geschat op 19.800 in 2021. De EU heeft als doel gesteld om het aantal verkeersdoden tussen 2010 en 2030 met 50% te verminderen, met als langetermijndoel ("Vision Zero") het aantal dodelijke verkeersslachtoffers tegen 2050 tot nul te reduceren (European Environment Agency, 2023a, p. 39).

Om een beter beeld te krijgen van de bijdrage van heavy goods vehicles (>3,5T) in de verkeersonveiligheid, wordt er ingezoomd op de verkeersongeval cijfers in de Europese Unie van 2022. In totaal werden er in 2022, 20.594 fatale ongevallen geregistreerd. Hieruit blijkt dat (met abstractie van de ongevallen zonder tegenpartij) er in totaal 2.697 of 19,56% van de gevallen een zwaar bedrijfsvoertuig of heavy goods vehicle (HGV) betrokken was bij het fataal ongeval. Van deze 2.697 waren 424 (of 15,7%) ongevallen met een voetganger en 1.450 (of 53,8%) ongevallen met een passagierswagen. Als er dan geschat wordt dat heavy goods vehicles slechts voor 6% van het verkeer uitmaken zijn bovenstaande cijfers alarmerend (Euro NCAP, 2022).

“Zware bedrijfsvoertuigen zijn betrokken in bijna 1 op de 5 fatale ongevallen, echter zijn ze slechts in 1 op de 54 ongevallen de fatale partij”



Figuur 2: Vision zero plan (Houston city department, n.d)

Desondanks dat zware bedrijfsvoertuigen betrokken zijn in bijna 1 op de 5 fatale ongevallen, zijn ze slechts in 1 op de 54 ongevallen de fatale partij. Dit benadrukt de grote verantwoordelijkheid van zware bedrijfsvoertuigen in het verkeer. Er kan worden geconcludeerd dat fleet management potentieel kan bijdragen aan het 11^e de SDG goal genaamd “sustainable cities and communities”. Zo kunnen wagenparken met de laatste innovatieve technologieën zoals slimme camera’s, dodehoekwaarschuwingen, voorwaartse botsingswaarschuwing of rijbaanassistentie bijdragen aan een hogere verkeersveiligheid.



Figuur 3: SDG's (United Nations, n.d)

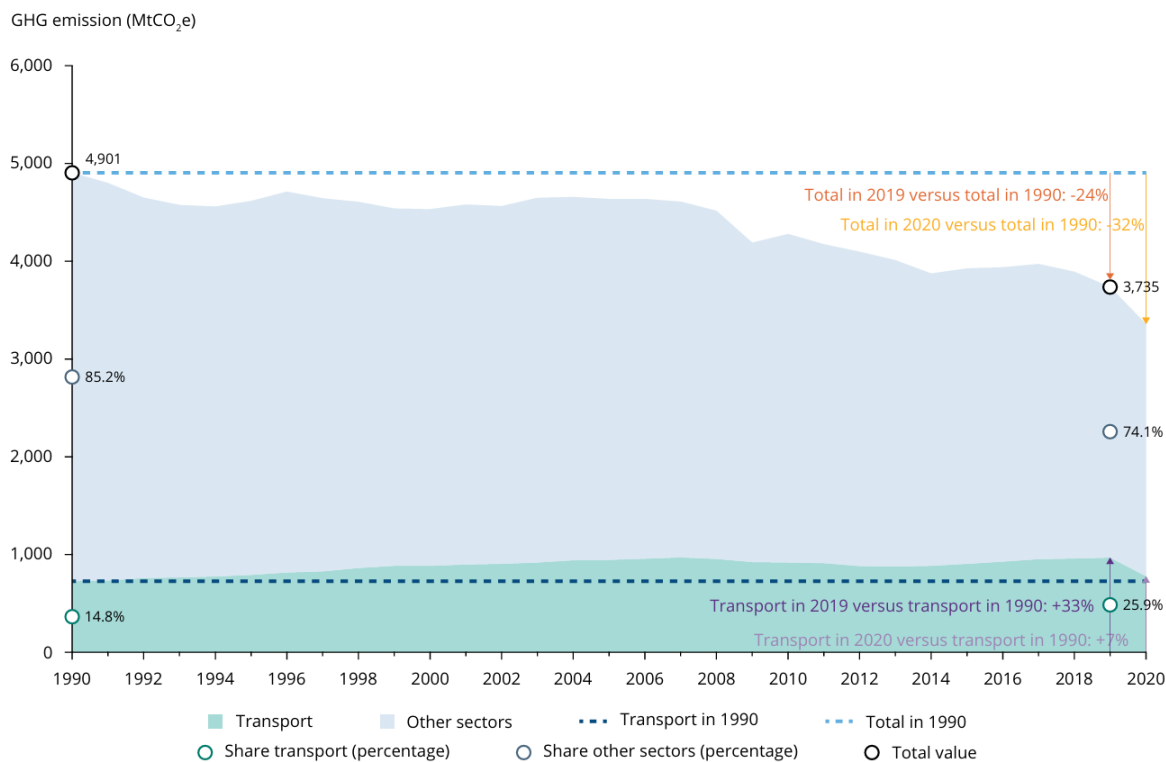
Deze masterproef tracht door logistieke spelers inzicht te geven in hoe een transitie naar een duurzamer wagenpark bereikt kan worden, indirect bij te dragen aan de Sustainable Development Goals “climate action” en “sustainable cities and communities”.

De Sustainable Development Goals (SDG's) werden in 2015 door de Verenigde Naties aangenomen als een universele oproep tot actie om een einde te maken aan armoede, de planeet te beschermen en ervoor te zorgen dat tegen 2030 alle mensen vrede en welvaart kennen (United Nations Development Programme, z.d.).

1.2 Transport en milieu in Europa

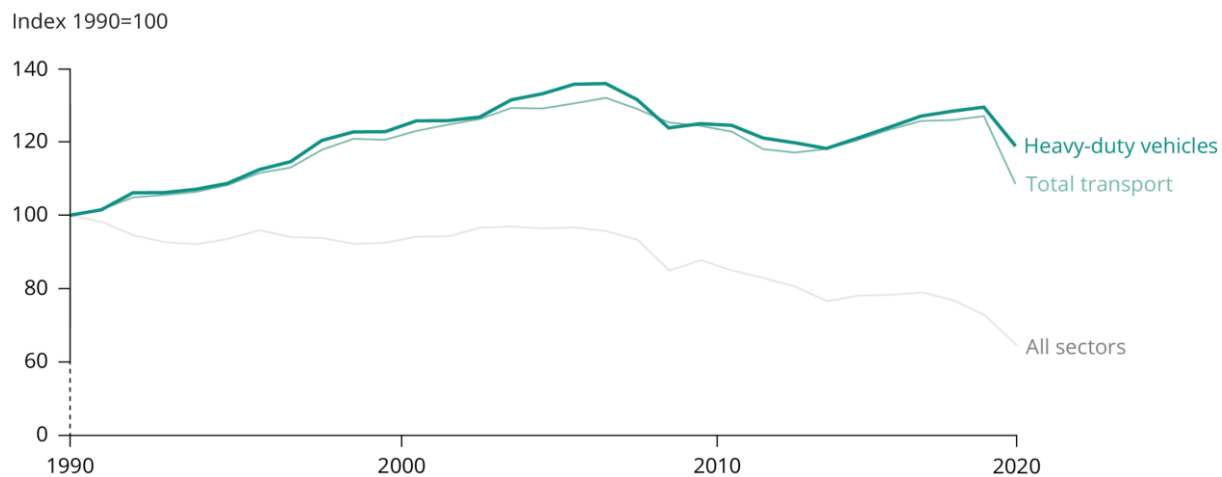
Duurzame fleets kunnen bijdragen aan het reduceren van de emissie uitstoot. Uit het “transport en milieu 2022”-rapport van het Europees Milieuagentschap blijkt dat de transportsector in 2019 verantwoordelijk was voor 25,9% van de broeikasgasemissies in de Europese Unie (EU-27). Nog opmerkelijker is dat terwijl de totale uitstoot van broeikasgassen in het jaar 2019, ten opzichte van het referentie jaar 1990, met 24% is gedaald, is die van de transportsector met 33% gestegen (European Environment Agency, 2023a, p. 25).

In tegenstelling tot al de andere sectoren draagt de transportsector in absolute cijfers dus niet bij aan een verlaging van de emissie uitstoot van de Europese Unie. Dat de transportsector momenteel een grote bijdrager is bij de uitstoot in de EU-27 is te verklaren vanwege de sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (European Environment Agency, 2023a, p. 25). Tot slot becijferde het Europees Milieuagentschap dat meer dan 75% van de uitstoot van de transportsector verband houdt met de uitstoot van het wegvervoer (European Environment Agency, 2023b, p. 45).



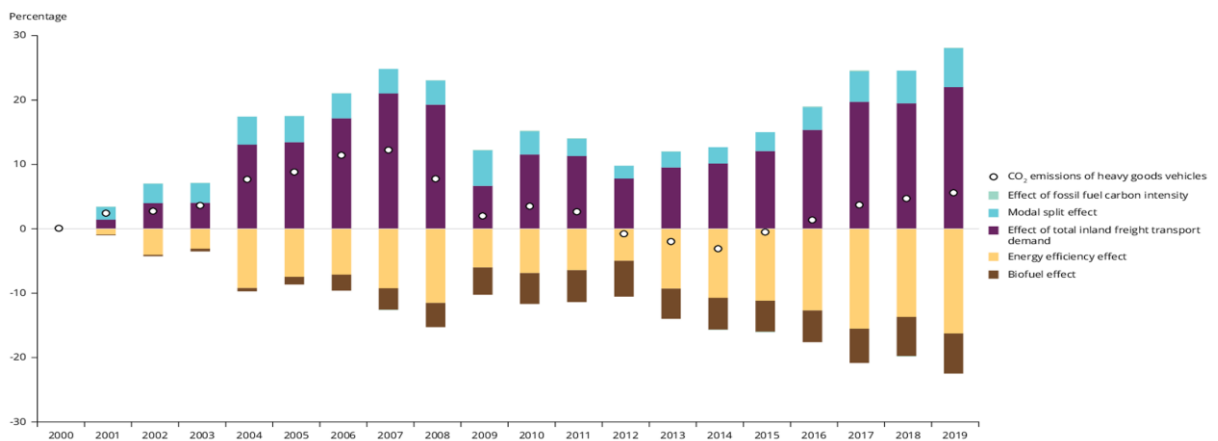
Figuur 4: Broeikasgasemissies door transport en andere sectoren in de EU-27 (miljoen ton CO₂e), aandeel in emissies en verandering tussen 1990 en 2020 (%) (European Environment Agency, 2023)

Een zelfde tendens is waar te nemen voor de zware bedrijfsvoertuigen binnen de transportsector. Zware voertuigen, vrachtwagens en bussen genereren ongeveer 28% van alle CO₂ uitstoot van het wegvervoer en dragen voor meer dan 6% bij aan de totale uitstoot van broeikasgassen in de EU (European Environment Agency, 2023b, p. 48). Ook hier constateert men dat desondanks de totale uitstoot van broeikasgassen in de EU de afgelopen tien jaar continu zijn gedaald, de CO₂-uitstoot van zware bedrijfsvoertuigen sinds 2014 elk jaar is gestegen. Enkel in 2020 daalde de uitstoot vanwege de heersende COVID-19-pandemie (European Environment Agency, 2022).



Figuur 5: Tendensen in CO₂-emissies van zware bedrijfsvoertuigen in de EU, 1990-2020 (European Environment Agency, 2022)

De belangrijkste factor achter de toename van de CO₂-uitstoot is de toenemende vraag naar vervoer. Desondanks de transportefficiëntie is verbeterd, is dit niet voldoende geweest om de toegenomen vraag naar transport tegen te gaan. In totaliteit heeft de toename van de vraag naar vrachtvervoer de efficiëntieverbeteringen ingehaald. Naast de vraag naar goederenvervoer over land verklaren volgende variabele de stijgende CO₂-uitstoot: de energie-efficiëntie van vrachtwagens, het aandeel van fossiele brandstoffen in het brandstofverbruik van vrachtwagens, het aandeel van biobrandstoffen waarbij wordt aangenomen dat deze koolstofneutraal zijn (European Environment Agency, 2022).



Figuur 6: Decompositieanalyse van de CO₂-uitstoot van vrachtwagens in de EU-27, 2000-2019 - procentuele bijdrage van verschillende factoren (European Environment Agency, 2022)

Ook de cijfers uit België volgen tot en met 2020 de belangrijkste evoluties van de Europese Unie. Ook in 2022 was in België de transportsector met 23,4 procent de grootste bron van emissie. In tegenstelling tot in de Europese Unie is in België naast de transportsector, ook de tertiaire sector (verwarming van gebouwen) een sector met een hogere uitstootwaarde als in het basisjaar 1990 (Dienst Klimaatverandering - Belgische overheid, 2024).

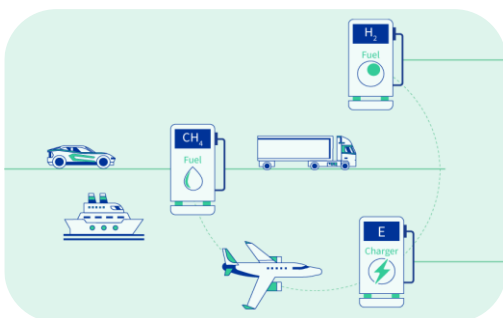
Omdat de publicaties van de lidstaten met een kleine twee jaar voorlopen op die van de Europese Unie, kunnen we voor België reeds opmerken dat de post-corona jaren het niveau van 2019 niet evenaren. Deze gunstige evolutie is een teken dat de transportsector wel degelijk vooruitgang maakt.

Zo wordt 2022 gekenmerkt door een toename van 15,8 procent ten opzichte van het basisjaar 1990 (Dienst Klimaatverandering - Belgische overheid, 2024). In 2019 was deze toename nog 24 procent, waarmee ook ineens bevestigd wordt dat België het als lidstaat relatief goed doet ten opzichte van de 33% toename van de Europese Unie. Of deze gunstige evolutie tussen 2019 en 2022 ook op Europees niveau zal plaatsvinden, kan pas bevestigd worden door een publicatie van het transport and environment 2024 rapport van het Europees Milieuagentschap.

1.3 Fit for 55

Ook de Europese Unie erkent dat de snelheid van de decarbonisatie van het wegvervoer voor een groot deel zal afhangen van de vernieuwing van het wagenpark (European Environment Agency, 2023b, p. 46). Om bij te dragen aan de doelstelling van een klimaatneutraal EU is een combinatie van veranderingen nodig, waaronder snellere verbeteringen van de energie-efficiëntie, een verschuiving naar voertuigen met lagere emissies en/of efficiëntere vervoerswijzen. Het Europees Milieuagentschap concludeert dat het verbeteren van de efficiëntie van voertuig- en brandstoftechnologieën de sleutel is tot het terugdringen van de totale uitstoot (European Environment Agency, 2022, deel Key message). Met het oog op het bereiken hiervan werd een pakket met doelstellingen ontwikkeld, het kreeg de naam "Fit for 55".

Het "Fit for 55"-pakket is een reeks voorstellen om de EU-wetgeving te herzien en te actualiseren om nieuwe initiatieven te nemen met als doel de netto-uitstoot van broeikasgassen van Europa tegen 2030 met minstens 55% te verminderen (European Council, 2023).



Figuur 7: Hernieuwbare energie (Nova-Institute, 2022)

Met de goedkeuring van het Fit-for-55-pakket ligt de nadruk volledig op verdere emissiereducties in de transportsector. Naast het beleid dat energie-efficiëntie en het gebruik van hernieuwbare energie stimuleert, zijn verschillende nieuwe beleidsinstrumenten geïntroduceerd (European Environment Agency, 2023b, p. 48).

Specifiek voor heavy-duty vehicles (HDVs), zorgen de huidige CO₂-normen ervoor dat fabrikanten de CO₂-uitstoot van nieuwe zware vrachtwagens moeten verminderen met 15% in 2025 en met 30% in 2030 ten opzichte van het niveau in 2019. Daarbovenop heeft de Europese Commissie in februari 2023 een verdergaand voorstel ingediend dat pleit voor een reductiedoelstellingen van 65% voor 2035 en 90% vanaf 2040 (European Environment Agency, 2023b, p. 48).

Op 9 februari 2024 werden bovenstaande voorgestelde CO₂-emissienormen voor zware bedrijfsvoertuigen goedgekeurd door de Raad en het Europees Parlement. Daarbovenop heeft men de voorgestelde 30% in 2030 verstrengd naar 45% ten opzichte van het niveau in 2019 (European council, 2024). Dit kan geïnterpreteerd worden als een sterk signaal naar de sector dat spoedige verandering noodzakelijk is om de vooropgestelde emissiedoelen te halen.

2 ONDERZOEKSVRAAG

Op basis van de probleemstelling en doelstelling werd volgende centrale onderzoeksvraag met bijhorende subvragen bepaald. Onderzoeksvraag: “Hoe kan het uitvoeren van een Life Cycle Cost Analysis (LCCA) en een Total Cost of Ownership (TCO) analyse logistieke bedrijven ondersteunen bij het vormgeven van hun fleet replacement strategy?”. Met bijhorende subvragen:

- Wat is in op basis van een LCCA, de optimale vervangingsleeftijd van een ICE-trekker?
- Bereikt een elektrische trekker (BEV) in de markt vandaag reeds een TCO-pariteit?
- Hoe maken bedrijven in de praktijk beslissingen in verband hun fleet replacement strategy?

2.1 Afbakening onderzoek

Het primair doel van deze masterproef is de methodiek van zowel de LCCA als de TCO-analyse te illustreren. De masterproef tracht logistieke bedrijven een raamwerk te bieden dat resulteert in economisch onderbouwde beslissingen. De masterproef beperkt tot de analyse van ICE-trekkers en BEV's.

De analyse gebeurt op basis van een Life Cycle Cost Analysis die bestaat uit de aankoopprijs, marktwaarde en de onderhouds- en herstellingskosten. Vervolgens wordt doormiddel van een TCO-analyse in kaart gebracht of het voor logistieke bedrijven reeds loont om te investeren in elektrische trekkers (BEV's). Hiervoor worden naast de variabele van de LCCA, ook het verbruik en de brandstof- en elektriciteitsprijs opgenomen in de analyse. Op basis van beide analyses heeft een logistieke wagenparkbeheerder al de informatie om hun fleet replacement strategy onderbouwd vorm te geven.

De masterproef is relevant aangezien men op basis van de analyses waardevolle inzichten kan verwerven die ondersteuning kunnen bieden bij het maken van de toekomstige managementbeslissing omtrent het beheer van hun wagenpark. Dit is van belang omdat logistieke bedrijven momenteel in beperkte mate gebruik maken van theoretische ondersteunde concepten gedurende het beslissingsproces. Zo maken veel bedrijven anno 2024 de beslissing voornamelijk op basis van praktijkkennis en niet op basis van economische concepten.

3 METHODOLOGIE

3.1 Single case study

In deze masterproef wordt een “single case study” uitgevoerd, een grondmethode die op basis van twee motieven werd geselecteerd. Zo is er reeds een goed uitgebouwde theorie in verband de Life Cycle Cost Analysis wat maakt dat één case voldoende is om de waarde van de theorie te toetsen. Daarnaast bevindt het onderzoek naar duurzame fleets zich nog in de exploratieve fase waardoor deze casestudy ook als een openbaringscase kan worden gecategoriseerd (Mortelmans, 2020, p. 184).

Bovendien is een case study een gepaste onderzoeksvorm om een managementbeslissing met veel stakeholders en bijhorende variabelen te onderzoeken, er is namelijk nood aan een goed begrip van de empirische setting waarin de beslissing gemaakt moet worden. Het doel van deze masterproef is dan ook om voor de specifiek context waarin logistieke bedrijven een managementbeslissing moet maken ondersteuning te bieden. De generaliseerbaarheid naar andere logistieke spelers heeft dan ook geen prioriteit binnen dit onderzoek. Hierdoor kan men spreken over een intrinsiek casestudyonderzoek (Mortelmans, 2020, p. 131).

3.2 Data collectie

Deze case study kan gecategoriseerd worden onder “mixed-methods onderzoek” waarbij elementen van zowel kwantitatief en als kwalitatief onderzoek gecombineerd worden om een antwoord te formuleren op de onderzoeksvraag (Mortelmans, 2020, p. 349). De onderzoeksmethode bevindt zich op het continuüm wel meer richting kwantitatief onderzoek in vergelijking tot kwalitatief onderzoek. Een voordeel van mixed-methods is dat de complementariteit van kwantitatieve en kwalitatieve resultaten zorgen voor een rijker beeld op het object (Mortelmans, 2020, p. 352, 360, 361).

De dataverzamelmethode bij kwantitatief onderzoek bestaat uit deskresearch in de vorm van data analyses waarbij secundaire data wordt gebruikt. Ter triangulatie werd er ook door middel van een literatuurstudie inzicht opgedaan over bestaand onderzoek over de fleet replacement strategy en LCCA. Gedurende het onderzoek werd getracht de wetenschappelijke integriteit zo hoog mogelijk te houden. De beperkte dataverzamelmethode bij kwalitatief onderzoek bestaat uit fieldresearch in de vorm van persoonlijke interviews.

Het onderzoek volgt het verloop van een verklarend sequentieel design waarbij eerst de kwantitatieve dataverzameling plaats vindt voordat men begint met de kwalitatieve dataverzameling en -analyse (Mortelmans, 2020, p. 355).

Tot slot kan de masterproef ook gecategoriseerd worden onder het deductief onderzoek. De deductieve logica omvat dat de theorie het startpunt van de masterproef is waarna deze wordt afgetoetst met relevante data uit de praktijk (Scribbr, 2022a). Er wordt in deze masterproef dan ook onderzocht of de theorie ook van toepassing is/ een meerwaarde kan bieden bij de empirische setting van logistieke bedrijven.

4 THEORETISCH KADER

4.1 Asset management

De fleet replacement strategy en met uitbereiding deze masterproef bevindt zich in de “asset management” sferen. Asset management bestaat uit het toepassen van zowel technisch als financieel inzicht en gezonde managementpraktijken bij het beslissen welke bedrijfsmiddelen een bedrijf nodig heeft om zijn bedrijfsdoelen te bereiken. Ook het verwerven en de hele logistiek achter het in stand houden van deze bedrijfsmiddelen gedurende hun hele levensduur behoort tot het vermogensbeheer (Hastings, 2015, p. 11).

Het algemeen doel van asset management is om een organisatie te doen beschikken over de juiste bedrijfsmiddelen zodat de organisatie waarde kan realiseren en in zijn verlengde haar organisatiedoelstellingen kan nastreven (Hastings, 2015, p. 11). Hierbij dient rekening gehouden te worden met financiële risico's, het gewenst serviceniveau, eventuele milieu- en sociale kosten en andere mogelijke context gebonden variabelen.

4.2 Replacement strategy

In deze masterproef wordt een “replacement study” doormiddels van een Life Cycle Cost Analysis (LCCA) uitgevoerd om een antwoord te bieden op het fleet replacement problem. Een belangrijk deel van dit probleem omvat het bepalen van de optimale vervangingsleeftijd van een bedrijfsmiddel dat momenteel in gebruik is (Tarquin & Blank, 2012, p. 293). Vervolgens dient een beslissing gemaakt te worden of men het huidig bedrijfsmiddel in dienst (defender) al dan niet moet vervangen door een alternatief (challenger). Om deze beslissing te faciliteren wordt er een TCO-berekening uitgevoerd.

Het doel van de Life Cycle Cost Analysis is het bepalen van de economische levensduur (ESL). De ESL van een voertuig is in dit onderzoek het aantal jaren waarin de laagste jaarlijkse kosten optreden. Dit is volgens onderzoekers Tarquin en Blank het optimale punt om een voertuig in zijn levenscyclus te vervangen (2012, p. 296).

Aangezien er gezocht wordt naar een lokaal minimum valt deze werkwijze onder de theoretische benadering “minimum cost method” voor het bepalen van het vervangingsbeleid. Hierbij wordt er gericht op het minimaliseren van de kosten, door rekening te houden met de operationele kosten, de onderhouds- en herstellingskosten en ook met de afname van de boekwaarde als gevolg van afschrijving (Grandsberg et al, 2006, p. 48).

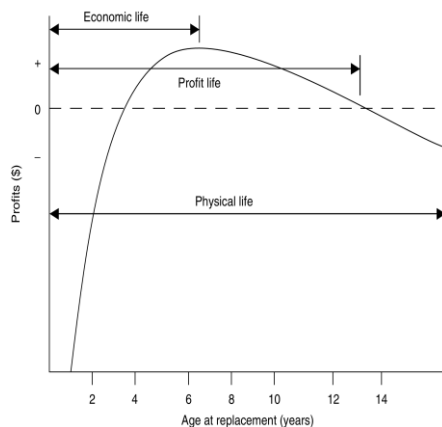


Figure 8: Equipment life definitions (Grandsberg et al., 2006)

Dit is een andere benadering dan de “maximum profit method” waarbij het doel is om het lokaal winstmaxima te bepalen. Figuur 8 illustreert de denkwijze van deze methode. Een bedrijfsmiddel heeft een fysieke levensduur dat eindigt als het middel niet betrouwbaar meer functioneert (Grandsberg et al, 2006, p. 40). Binnen deze leeftijdspanne is er de winstlevensduur waarin het middel winst genereert. Tot slot is er de economische levensduur die gelijk is aan de periode waarin de winst over de levensduur van de apparatuur maximaal is (Grandsberg et al, 2006, p. 39).

Desondanks de “maximum profit method”, de aan te raden methoden is kan deze enkel toegepast worden als de winst duidelijk gedefinieerd, geïsoleerd en geassocieerd kan worden met een specifiek bedrijfsmiddel (Grandsberg et al, 2006, p. 50).

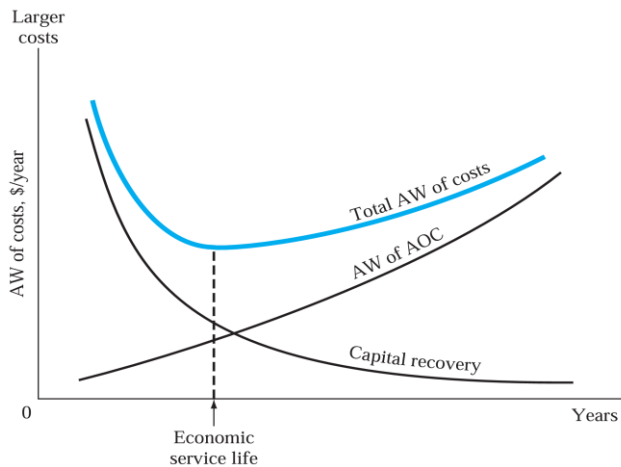
Daarnaast bestaat er ook nog de intuïtieve methode die gekarakteriseerd wordt door haar eenvoud en afhankelijkheid van individuele beoordeling. Deze methode is voornamelijk afhankelijk van professioneel oordeel of een schijnbaar gevoel van juistheid om vervangingsbeslissingen te nemen in combinatie met de beschikbaarheid van kapitaal. Echter, heeft geen van deze beslissingen een gezonde economische basis om gebruikt te worden als criterium (Grandsberg et al, 2006, p. 47).

Het uitvoeren van een LCCA resulteert in de economic service life van de defender en bij extensie ook voor een oplossing voor het vehicle replacement problem met als doelfunctie de laagste kosten. Vervolgens kan een TCO-analyse inzicht geven in de meest rendabelste opvolger.

4.3 Life Cycle Cost Analysis

Een LCCA maakt het mogelijk om op basis van kennis uit de engineering economie te bepalen wanneer in de levensduur van een investering de cumulatieve “operating” en “ownership” kosten minimaal zijn (Grandsberg, 2015, p. 32).

Door voor elk jaar tot en met het einde van de fysieke leeftijd van het bedrijfsmiddel de “equivalent annual cost” (EAC) te berekenen, kan men het ESL bepalen op basis van het lokaal minimum. De economic service life is het aantal jaren n waarbij de equivalent uniform annual cost van de kosten het minimum is. Hierbij rekening houdend met de meest recente kostenramingen over alle mogelijke jaren van het fysiek leven van het bedrijfsmiddel (Tarquin & Blank, 2012, p. 296).



Figuur 9: Annual worth curves of cost elements that determine the economic service life (Tarquin & Blank, 2012)

Figuur 9 illustreert grafisch de basis van deze theorie. Het toont aan dat naarmate de leeftijd van het bedrijfsmiddel toeneemt en dus verouderd, de kapitaalwaarde afneemt terwijl de jaarlijkse “operating” kosten toenemen. De theoretische optimale levensduur is het punt waar de cumulatieve kosten minimaal zijn en definieert de economische levensduur (Grandsberg, 2015, p. 32).

Merk op dat deze huidige “minimum cost” methode impliceert dat elke herstelling ongeacht de omvang ervan dient uitgevoerd te worden indien de ESL nog niet bereikt is. Dit toont de noodzaak aan voor een extra budgetbegrenzing van mogelijke herstellingen. Wanneer voor elk jaar een maximum herstellingslimiet wordt berekend, bestaat de oplossing van de replacement study uit een optimale vervangingsleeftijd met maximum herstellingslimiet (Blauwens et al., 2020, p. 261)

Life cycle analyses voor bedrijfsmiddelen bestaan uit twee componenten, namelijk “operating” en “ownership” kosten. De “ownership” kosten omvatten de initiële aankoopkost, afschrijving, verzekering, belastingen, opslag en investeringskosten. De bedrijfskosten omvatten onderhouds- en herstellingswerken, banden, brandstof en alle andere verbruiksgoederen (Grandsberg, 2015, p. 3).

Tegenstrijdig maar specifiek voor het bepalen van een optimaal vervangtijdstip, meent onderzoekers Blauwens et al. dat alle operationele kosten die niet beïnvloed worden door de leeftijd van het voertuig bijgevolg niet relevant zijn voor de vervangingsbeslissing (2020, p. 263). Vervolgens wordt op basis hiervan geadviseerd de lonen van de chauffeurs, de huur van de garage en de brandstofkosten niet op te nemen in de berekening van de “equivalent annual cost” (EAC). Er wordt hierbij verondersteld dat er bij correcte onderhouds- en herstellingswerken van het wagenpark geen significante stijgende brandstofconsumptie plaatsvindt. Om echter in een latere fase een vergelijking mogelijk te maken met een duurzame challenger, zal in deze masterproef ook de brandstofkosten in kaart worden gebracht.

5 LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA)

Een Life Cycle Cost Analysis gaat voor elk jaar tot en met het einde van de fysieke leeftijd van het bedrijfsmiddel de equivalent annual cost (EAC) in kaart brengen. Op basis hiervan kan de economic service life, het aantal jaren n waarbij de EAC het minimum is, bepaald worden. Als er n jaar voorbij zijn geeft de analyse aan dat het bedrijfsmiddel vervangen moet worden om de totale kosten gedurende de levensduur te minimaliseren. De Life Cycle Cost Analysis in dit onderzoek is gebaseerd op elkaars aanvullende methodes beschreven in het boek "transport economics" van Gust Blauwens et al. (2020) en het boek "engineering economy" van Leland Blank en Anthony Tarquin (2012).

De equivalent annual cost geeft dus weer hoeveel het jaarlijks kost om een truck voor een bepaalde levensduur te houden en wordt berekend als volgt:

$$EAC_n = \frac{-A + M_n * (1 + r)^{-n} - \sum_{j=1}^{j=n} K_j * (1 + r)^{-(j+0,5)}}{\frac{1}{(1 + r)^{0,5}} + \frac{1}{(1 + r)^{1,5}} + \dots + \frac{1}{(1 + r)^{n-0,5}}}$$

Met volgende elementen: A = aankoopwaarde; M_n = marktwaarde na n -jaren; K_j = onderhouds- en herstellingskosten voor jaar ($j=1$ tot n); r = disconteringsvoet.

De EAC die voor elk levensjaar moet berekend worden heeft als grote voordeel dat het resultaat zeer eenvoudig te interpreteren is. Zo is de EAC voor jaar n in deze analyse de jaarlijkse kostprijs van het bezit, onderhoud en herstellingen van een actief als men deze n -jaar zou bijhouden. Aangezien het een subdoel van de masterproef is om de kloof tussen de theorie en de praktijk te overbruggen, wordt de formule ter bevordering van de verstaanbaarheid opgesplitst in enkele compactere formules.

Cummulatieve kost na n jaar = Kapitaal kost – cumulatieve onderhoudskosten

$$= -A + M_n - \sum_{j=1}^{j=n} \text{onderhoudskosten}_j$$

De belangrijkste eerste stap is het bepalen van de cumulatieve kost voor elk jaar dat de truck operationeel actief is. Deze kost bestaat in deze analyse uit de kapitaal kost en de cumulatieve onderhouds- en herstellingskosten. De kapitaalkost is het bedrag dat men na recuperatie van de marktwaarde (dalend verloop in absolute term) heeft geïnvesteerd. Deze kan berekend worden door de huidige marktwaarde bij de initiële aankoopkost (negatief) op te tellen. De cumulatieve onderhouds- en herstellingskosten na n jaar (stijgend verloop in absolute term) omvat al de kosten die nodig waren om het voertuig tot en met jaar n operationeel te houden.

$$Totaal\ verdisconteerde\ kost_n = -A + M_n * (1 + r)^{-n} - \sum_{j=1}^{j=n} K_j * (1 + r)^{-(j+0,5)}$$

Omdat niet alle kosten op hetzelfde moment plaats vinden, kunnen de cashflows pas gesommeerd worden als alle kosten verdisconteerd zijn naar een zelfde tijdstip. Specifiek betekent dit dat zowel de marktwaarde (M) als de jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten (K) verdisconteerd moeten worden naar het moment van aankoop (het basisjaar). Het resultaat hiervan is de totaal verdisconteerde kost na n-jaren. De marktwaarde wordt steeds verdisconteerd met 1 jaar aangezien er verondersteld wordt dat deze wordt bepaald op het einde van het jaar. De jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten daarentegen worden verdisconteerd met een halfjaar (0,5) omdat deze kosten doorheen het volledige jaar plaatsvinden, wat maakt dat gemiddeld de kost plaatsvindt in de helft van het jaar.

Het disconteren van kosten met de disconteringsvoet is een belangrijk concept bij het evalueren van kosten (en baten) in economische analyses. Door het disconteren van toekomstige cashflows met een disconteringsvoet worden alle kosten omgezet in equivalente monetaire eenheden. Dit wil zeggen dat alle toekomstige geldstromen worden omgezet (verdisconteerd) naar het basisjaar tegen een specifiek rendement, de "Minimum Acceptable Rate of Return" (MARR) (Tarquin & Blank, 2012, p. 131).

De MARR vertegenwoordigt het minimumrendement dat een bedrijf bereid is te accepteren voordat het in een project investeert. Het houdt rekening met zowel het risico van het project als de opportuniteitskosten van het opgeven van andere potentiële projecten. Door toekomstige kosten te disconteren wordt er dus rekening gehouden met de kost van kapitaal alsook met de gemiste investeringskansen (Tarquin & Blank, 2012, p. 26). Zo symboliseert de disconteringsvoet zowel kost die bedrijven moeten betalen op hun geleend kapitaal (weighted average cost of capital) als hun gemiste investeringskansen in een ander mogelijks rendabel project (Tarquin & Blank, 2012, p. 26).

$$EAC_n = \frac{Totaal\ verdisconteerde\ kost_n}{\frac{1}{(1+r)^{0,5}} + \frac{1}{(1+r)^{1,5}} + \dots + \frac{1}{(1+r)^{n-0,5}}}$$

Tot slot dient de totaal verdisconteerde kost nog omgezet worden naar een jaarlijkse annuïteit. Deze jaarlijkse annuïteit is dan de gewenste equivalent annual cost (EAC). Dit is het jaarlijks bedrag dat, over de volledige gebruiksduur van het voertuig tot jaar n, moet betaald worden om de totale verdisconteerde kost af te betalen tegen disconteringsvoet r (Blauwens et al., 2020, p. 274). Er wordt verondersteld dat de jaarlijkse annuïteit halverwege elk dienstjaar betaald wordt.

5.1 Overzicht kosten

Om de optimale vervangingsleeftijd te bepalen door een Life Cycle Cost Analysis is er nood aan een diverse set van data. Zo is er nood aan het initiële aankoopbedrag van de trekker, de jaarlijkse marktwaarde, de jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten en de te hanteren interestkost. Het omvat alle variabelen die een invloed hebben op de leeftijd van de trekker. Zoals eerder reeds aangehaald worden de operationele kosten zoals de lonen van de chauffeurs, de huur van de garage en de brandstofkosten niet opgenomen in de analyse. Het kostenobject van deze Life Cycle Cost Analysis is een groep ICE-trekkers die internationaal actief zijn.

De analyses zijn wegens de confidentialiteit uitsluitend gebaseerd op secundaire bronnen. Desondanks er in deze thesis wordt uitgegaan dat deze marktconforme cijfers zijn, dienen logistieke spelers deze cijfers niet als waarheidsgetrouw te nemen. Elke individuele vlootbeheerder moet de primaire data van zijn eigen wagenpark raadplegen en de berekening in deze masterproef dienovereenkomstig aanpassen.

Ook een onderzoek van E&Y geeft aan dat de totale kosten van het bezit van een wagenpark significant verschilt op basis van hun grootteorde (Ernst & Young, 2015, p. 47). Aangezien de grootteorde van een wagenpark bepaalt of men al dan niet kan genieten van schaalvoordelen, dienen logistieke spelers steeds primaire data uit hun eigen operationele pakketten raad te plegen.

5.1.1 Aankoopwaarde

Er wordt verondersteld dat in 2020 een traditionele ICE-trekker zonder trailer 80.000 euro zonder btw kost (Blauwens et al., 2020, p. 265). Wanneer een trekker wordt aangekocht transformeren logistieke bedrijven deze nog naar zijn specifieke wensen, dit gaat van het installeren van trillingsdempers tot het wrappen van de truck. Er wordt verondersteld dat deze kosten reeds in het aankoopbedrag zit.

5.1.2 Marktwaarde

De marktwaarde van een truck is een lastig te voorspellen variabele. Aangezien deze variabele een grote impact heeft op de optimale vervangingsleeftijd van een trekker, kan het sluiten van een terugkoop-overeenkomst met de leverancier sterk bijdragen aan de betrouwbaarheid van de resultaten. Het resultaat, getoond in tabel 1, zijn de jaarlijkse procentuele herverkoopswaarde die worden gehanteerd in het boek Transport economics van Gust Blauwens et al. (2020).

Leeftijd in jaren	Herverkoopwaarde	Herverkoopwaarde % van aankoopwaarde
1	€ 58.400,00	73%
2	€ 47.200,00	59%
3	€ 38.400,00	48%
4	€ 30.400,00	38%
5	€ 24.800,00	31%
6	€ 20.000,00	25%
7	€ 16.000,00	20%
8	€ 12.800,00	16%
9	€ 8.000,00	10%
10	€ 3.200,00	4%

Tabel 1: Schatting jaarlijkse herverkoopwaarde

5.1.3 Onderhouds- en herstellingskosten

Er wordt verondersteld dat een internationaal actieve ICE-trekker gemiddeld ongeveer 150.000 kilometer per jaar rijdt. Alle jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten dienen naar deze kilometerstand omgerekend te worden, ervan uitgaande dat dit op proportionele basis kan gebeuren.

Dit betekent dat de onderhouds- en herstellingskosten van een truck die slechts de helft heeft gereden, verdubbeld worden. Uit onderzoek van Blauwens et al., blijkt dat statistische testen geen significante aanwijzingen geven om deze hypothese te verwerpen: “geen andere omrekeningsmethodes levert significant betere resultaten op” (Blauwens et al., 2020, p. 264). Aangezien onderhoudsbeurten van ICE-trekkers in de praktijk vaak cyclisch plaatsvinden kan men dit als een extra argumentatie aanzien om deze linearisatie te aanvaarden.

Om tot de finale OPEX-gegevens (Operating Expenditures) te komen, dienen vier noodzakelijke databewerkingen uitgevoerd te worden (Blauwens et al., 2020, p. 264-265). Als eerste moeten al de jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten voor alle voertuigen omgerekend worden naar hetzelfde aantal kilometer. Vervolgens moet de valutadepreciatie doorheen de jaren uit de onderhouds- en herstellingskosten geëxtraheerd worden. Ten derde moet door beperkte primaire data de onderhouds- en herstellingskosten van toekomstige dienstjaren voorspeld worden door middel van een regressieanalyse. Tot slot is het noodzakelijk om de kosten van al de trucks om te zetten naar een gemiddelde kost per dienstjaar. Hieronder meer info over de vier databewerkingen.

5.1.3.1 Eerste databewerking: gelijke kilometerstand

De eerste databewerking is essentieel omdat niet alle trekkers elk jaar evenveel kilometers presteren. Omdat trekkers die een bepaald jaar minder intensief gebruikt werden niet vergeleken kunnen worden met intensiever gebruikte trekkers, is een omrekening naar gelijk aantal kilometers vereist.

5.1.3.2 Tweede databewerking: extractie valutadepreciatie

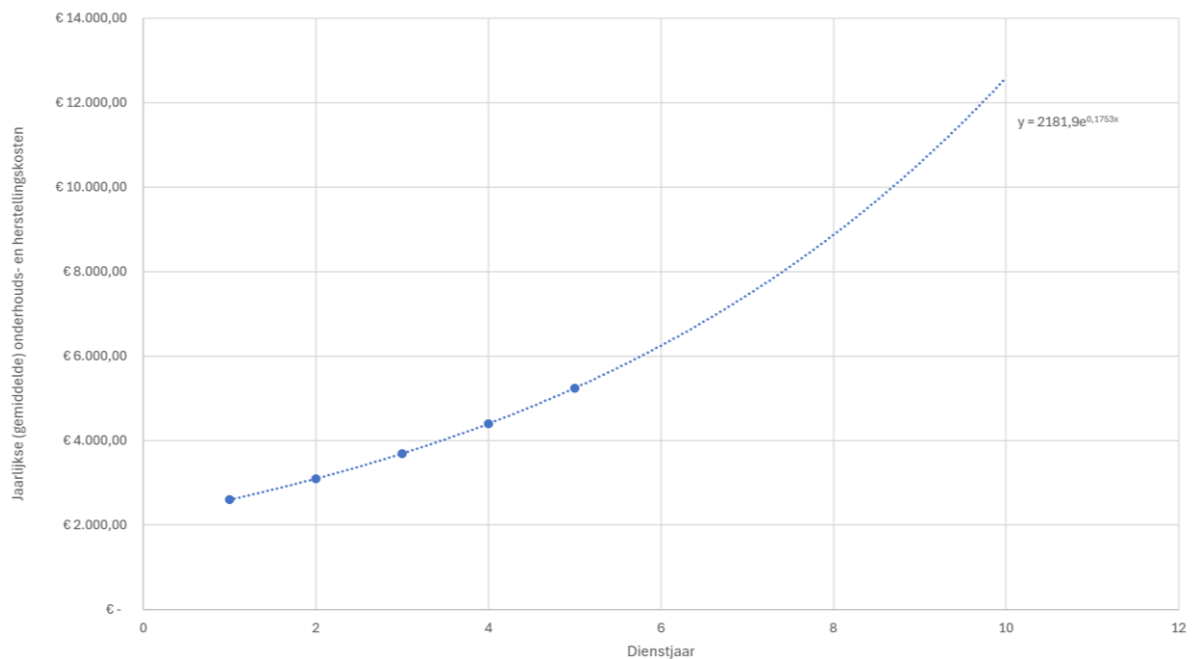
De tweede databewerking moet er voor zorgen dat al de onderhouds- en herstellingskosten uitgedrukt worden in een munteenheid met constante koopkracht. Aangezien de primaire data kosten bevat verspreid over meerdere jaren, dient de valutadepreciatie doorheen de jaren geëxtraheerd te worden. De inflatiefactor kan uit de gegevens worden gehaald door de gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten te delen door de prijsindex van het jaar in kwestie en vermenigvuldigen door de prijsindex van het basisjaar 2020 (Blauwens et al., 2020, p. 265).

Deze stap is van essentieel belang omdat anders de stijgende kosten kunnen worden toegeschreven aan zowel de dienstjaren van het voertuig als aan valutadepreciatie. Als men de evolutie van de onderhouds- en herstellingskosten enkel zou toeschrijven aan het verouderingsproces, dan zou men de tijdsfactor overschatten en vervolgens de trekker onterecht te vroeg vervangen. Prijsindexen van onderhouds- en herstellingswerken werden toegepast (Federal Reserve Economic Data, 2024a).

5.1.3.3 Derde databewerking: voorspelling onderhouds- en herstellingskosten

Tot slot hebben logistieke bedrijven voor voertuigen in dienst slechts een beperkt zicht op toekomstige onderhouds- en herstellingskosten. Wegens de beperkte beschikbaarheid van primaire gegevens dient op basis van primaire data van de beschikbare dienstjaren de gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten voor toekomstige dienstjaren, voorspeld te worden op basis van een regressieanalyse. In deze thesis wordt verondersteld dat een logistieke zijn trekker traditioneel vervangt na 5 jaar, wat maakt dat er slechts primaire data voor deze dienstjaren beschikbaar is.

Het uitvoeren van een regressieanalyse op de primaire data van de eerste vijf jaar, kan men de toekomstige gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten voorspellen. Blauwens et al. erkent dat dat het maken van een accurate voorspelling van de onderhouds- en herstellingskosten het lastigste deel van een vervangingsstrategie is (2020). Er is dan ook geen garantie dat de exponentiële curve de beste keuze is. De toepassing van een exponentiële regressie, resulteerde in volgende functie: $y = 2.181,9e^{0,1753x}$ met y = onderhouds- en herstellingskosten en x = aantal dienstjaar



Figuur 10: Exponentiële functie met $y = 2.181,9e^{0,1753x}$ met $y =$ gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten en $x =$ aantal dienstjaar

Een regressieanalyse toont aan dat de er sprake is van een significante, sterke positieve correlatie tussen de leeftijd van de trekker en de onderhouds- en herstellingskosten ($r = .99$; $p < .001$; $N = 5$). Dit was een te verwachten uitkomst aangezien de gehanteerde cijfers reeds door Blauwens et al. geëxtraheerd werden uit een exponentiële trend.

Het spreekt dan ook voor zich dat de Mean Absolute Percentage Error (MAPE), een statistische metriek die inzicht geeft in de nauwkeurigheid van het voorspellingsmodel, een zeer goed resultaat bekommt. Aangezien de bovenstaande exponentiële functie resulteert in een MAPE van 0,004%, kan het voorspellingmodel gecategoriseerd worden als “zeer goed” (Ghiani et al., 2004). In bijlage A is de bijhorende statistische output en MAPE berekening van de regressie analyse opgenomen.

Aangezien een enkelvoudige regressie werd uitgevoerd, kan op basis van de correlatiecoëfficiënt alleen geconcludeerd worden dat er een samenhang is tussen de kosten en de leeftijd van de ICE-trekker. De statistische analyse kan dan ook geen uitspraak doen over een mogelijk oorzakelijk verband (Scribbr, 2022b).

5.1.3.3.1 Betrouwbaarheid voorspelling

Zoals reeds vermeld is het ontwikkelen van een accurate voorspelling van de onderhouds- en herstellingskosten een zeer lastige oefening. Het feit dat op basis van gegevens uit vijf jaar de komende vijf jaren worden voorspelt, is nefast voor de betrouwbaarheid van de voorspelling.

Het is dan ook belangrijk om te begrijpen dat de exponentiële trend een voorspelling geeft onder de veronderstelling dat het patroon van de eerste vijf jaar (groei in kosten) zich ook zal verderzetten tijdens de jaren nadien. Zoals men kan zien in figuur 10, is er in de eerste vijf jaar een duidelijke exponentiële trend zichtbaar waardoor er in deze analyse uitgaat dat dit in de toekomst ook gaat gebeuren.

Ook in wetenschappelijke bronnen spreekt men vaak over een exponentieel verloop van onderhouds- en herstellingskosten. Zo geeft consultancy bureau Ernest & Young volgend advies: “Replacing vehicles before they get too old is critical to maintaining low costs, due to the exponential relationship of maintenance cost per mile to vehicle age.” (2015, p.47). Echter is het mogelijk dat analyses met primaire data resulteren in andere soort trends. Het is dan ook aan te raden om steeds zowel de uitvoering van een lineaire als een polynomiale regressieanalyse kritisch toe te passen. Het uiteindelijke doel is het creëren van een set gegevens die de praktijk zo goed mogelijk tracht te benaderen.

Met bovenstaande omkadering kan men besluiten dat desondanks het voorspellingsmodel een significante, sterke positieve correlatie voorspelling met een zeer goede MAPE bekomt, de resultaten sceptisch behandeld moeten worden.

5.1.3.4 Vierde databewerking: kerngegevens

Vervolgens is de laatste databewerking nodig om kerngegevens te bekomen die het berekenen van een EAC mogelijk maakt. Een fleet replacement strategy kan dan ook enkel gebaseerd zijn op een groep van trekkers en dus niet op gegevens van een individuele trekker. Om tot een gepast vervangingsbeleid te komen, moet men dus niet vertrouwen op de kostenevolutie van één enkele trekker aangezien deze willekeurige afwijkingen kan vertonen (Blauwens et al., 2020, p. 266).

De reductie van individuele kosten observaties naar kerngegeven bereikt men door de vastgestelde functie die de trend beschrijft te berekenen voor al de dienstjaren X. Indien de wagenpark-beheerder geen regressieanalyse heeft uitgevoerd volstaat het om te werken met gemiddelde waardes.

Aangezien er in deze thesis reeds werd beroep werd gedaan op kengetallen kan deze stap worden overgeslagen. In de praktijk dienen wagenparkbeheerders hun individuele datapunten te herleiden naar kerngetallen. Indien de kerngetallen niet in lijn lichten met de verwachtingen van de logistieke speler, kan men zonder dat het statistisch onderbouw is, boven op de voorspelde kosten nog te verwachte niet-structurele herstellingskosten (bv vervangen remschijven, koppelingsplaat) toevoegen. Het uiteindelijke resultaat is een gemiddelde set van data dat het gedrag van de onderhouds- en herstellingskosten zo goed mogelijk tracht te weerspiegelen.

Leeftijd in jaren	Gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten met extractie van de tijdsfactor
1	€ 2.599,98
2	€ 3.098,14
3	€ 3.691,76
4	€ 4.399,12
5	€ 5.242,01
6	€ 6.246,40
7	€ 7.443,23
8	€ 8.869,38
9	€ 10.568,79
10	€ 12.593,82

Tabel 2: Finale onderhouds- en herstellingskosten

5.1.4 Interestkosten

Zoals reeds werd vermeld is het disconteren van kosten met een disconteringsvoet een belangrijk concept bij het evalueren van kosten in economische analyses. De disconteringsvoet symboliseert zowel de kost die bedrijven moeten betalen op hun geleend kapitaal (weighted average cost of capital) als hun gemiste investeringskans (Tarquin & Blank, 2012, p. 26).

De WACC-benadering is de meest gebruikte discounted cash flow (DCF)-methode voor het afleiden van een ondernemingswaarde. Door deze benadering toe te passen worden de gewogen gemiddelde kapitaalkosten (WACC) gebruikt om de toekomstige kasstromen van een bedrijf te verdisconteren. De WACC wordt berekend door de kosten van eigen en vreemd vermogen te wegen op basis van hun respectieve verhouding ten opzichte van de totale waarde van de entiteit (KPMG, 2021, p. 19).

Op basis van 309 participerende bedrijven kon KPMG voor het jaar 2020 (basisjaar analyse) becijferen dat de gemiddelde WACC in alle industrieën 6,6% bedroeg. Specifiek voor de transport sector bedroeg de WACC gemiddeld 6,3% in 2020 (KPMG, 2021, p. 20). De Life Cycle Cost Analysis in deze masterproef gaat uit van een disconteringsvoet van 6,3% voor het verdisconteren van toekomstige cashflows.

Onderzoeksbureau E&Y constateert dat veel bedrijven de kapitaalkost niet consistent in rekening brengen bij hun TCO-berekeningen. Ze beweren dat dit niet nodig is aangezien ze hun investeringen aankopen met eigen liquide middelen. Echter haalt Onderzoeksbureau E&Y terecht aan dat: "They ignore the implicitly embedded opportunity cost of capital as they could have potentially invested that cash elsewhere to provide a higher rate of return to their investors." (Ernst & Young, 2015, p. 47).

Ook Harvard Business Review geeft aan dat het “onverantwoord” is om bij het maken van managementbeslissingen geen rekening te houden met de interestkosten. Om het wel te doen moeten: “leidinggevend het concept van economische winst (EP) herontdekken - dat wil zeggen inkomsten minus niet alleen operationele en administratieve kosten, maar ook de kosten van het kapitaal dat nodig is om die inkomsten te produceren” (Gillis & Harvard Business review, 2024).

5.1.5 Niet opgenomen kosten

Om het juiste moment te bepalen om een apparaat te vervangen, moet de eigenaar niet alleen rekening moet houden met de eigendomskosten en operationele kosten, maar ook met andere kosten die verband houden met het bezitten en gebruiken van het voertuig (Gransberg, 2015, p. 17).

Faalkosten omvatten het verlies van inkomen alsook andere mogelijke commerciële schade ten gevolge van het niet beschikbaar zijn van het bedrijfsmiddel (bijvoorbeeld een trekker in de garage). Daarnaast hebben oudere voertuigen ook een moeilijk te kwantificeren invloed op de kwaliteit van de dienstverlening (“obsolescence cost”). In vergelijking tot een nieuwe trekker is het transport namelijk trager, minder veilig, minder aangenaam voor de chauffeur... (Blauwens et al., 2020, p. 267).

Daarnaast projecteert een ouder voertuig ook een minder goed imago. Desondanks dat oudere voertuigen hogere faal- en “obsolescence” kosten hebben, is de impact op de omzet moeilijk te kwantificeren waardoor deze niet in de Life Cycle Cost Analysis worden opgenomen (Blauwens et al., 2020, p. 267).

Het dient vermeld te worden dat indien bovenstaande kosten door de logistieke wagenparkbeheerder kunnen gekwantificeerd worden, dat deze eenvoudig kunnen worden toegevoegd aan de analyse.

5.2 Optimale vervangingsleeftijd

Als op basis van bovenstaande gegevens met betrekking tot de kosten van de ICE-trekkers, de equivalent annual cost wordt berekend, verkrijgt men tabel 3. Ter illustratie van de methode, hieronder de berekening van de totaal verdisconteerde kost na twee jaar:

$$\begin{aligned} & - 80.000,00 \text{ (= aankoopprijs die onmiddellijk wordt betaald in jaar 0)} \\ & - 2.599,98 * (1 + 0,063)^{-0,5} \text{ (= onderhouds- en herstellingskosten jaar 1, verdisconteerd over 0,5 jaar)} \\ & - 3.098,14 * (1 + 0,063)^{-1,5} \text{ (= onderhouds- en herstellingskosten jaar 2, verdisconteerd over 1,5 jaar)} \\ & + 47.200 * (1 + 0,063)^{-2} \text{ (= restwaarde na jaar 2, verdisconteerd over 2 jaar)} \\ & = \text{€ } 43.577,54 \end{aligned}$$

Aantal jaren in dienst (n)	Marktwaaarde na n -jaren (M_n)	Onderhouds- en herstellingskosten in jaar n (K_n)	Totaal verdisconteerde kost na n jaar	Equivalent annual cost (EAC)
1	€ 58.400,00	€ 2.599,98	€ 27.582,90	€ 28.438,49
2	€ 47.200,00	€ 3.098,14	€ 43.577,54	€ 23.150,66
3	€ 38.400,00	€ 3.691,76	€ 56.548,26	€ 20.632,78
4	€ 30.400,00	€ 4.399,12	€ 68.260,69	€ 19.238,21
5	€ 24.800,00	€ 5.242,01	€ 77.779,65	€ 18.055,49
6	€ 20.000,00	€ 6.246,40	€ 86.653,19	€ 17.253,28
7	€ 16.000,00	€ 7.443,23	€ 95.086,61	€ 16.697,47
8	€ 12.800,00	€ 8.869,38	€ 103.276,85	€ 16.322,98
9	€ 8.000,00	€ 10.568,79	€ 112.799,64	€ 16.295,78
10	€ 3.200,00	€ 12.593,82	€ 122.727,25	€ 16.403,68

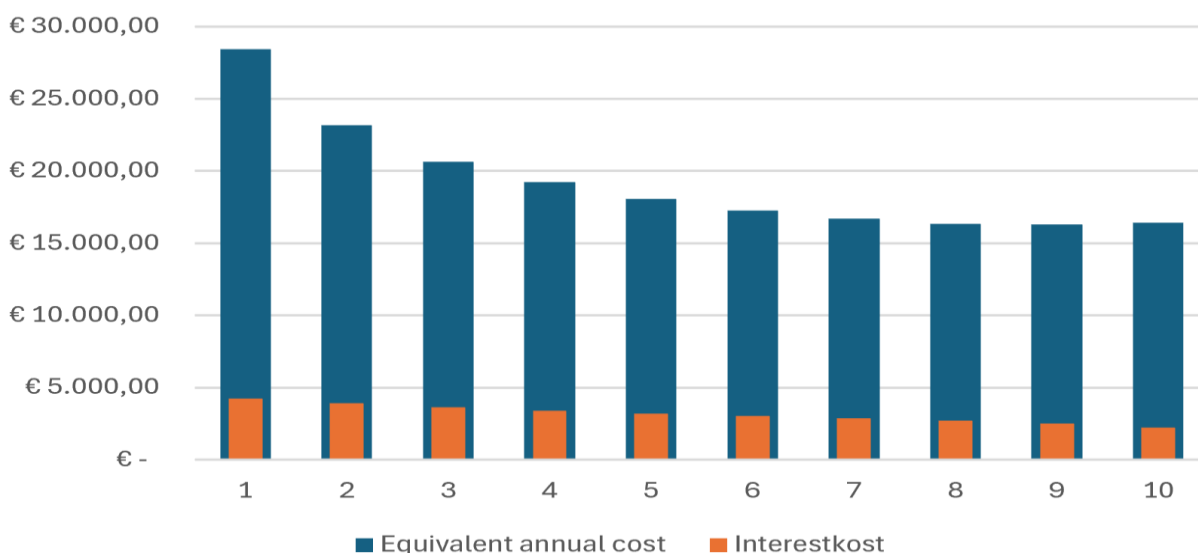
Tabel 3: Resultaten LCCA

5.3 Evaluatie uitkomst LCCA

De Life Cycle Cost Analysis geeft aan dat de kosten een lokaal minimum bereikt wanneer de ICE-trekker na negen jaar wordt vervangen. De economic service life bedraagt in deze analyse negen jaar, aangezien hierbij de jaarlijkse kosten in relatie tot het aantal jaar in dienst minimaal zijn. Na een dienstleeftijd van negen jaar zou het verkopen van het voertuig met een kilometerstand van 1.350.000 kilometer, resulteren in de laagst mogelijke equivalent annual cost van 16.295,78 euro.

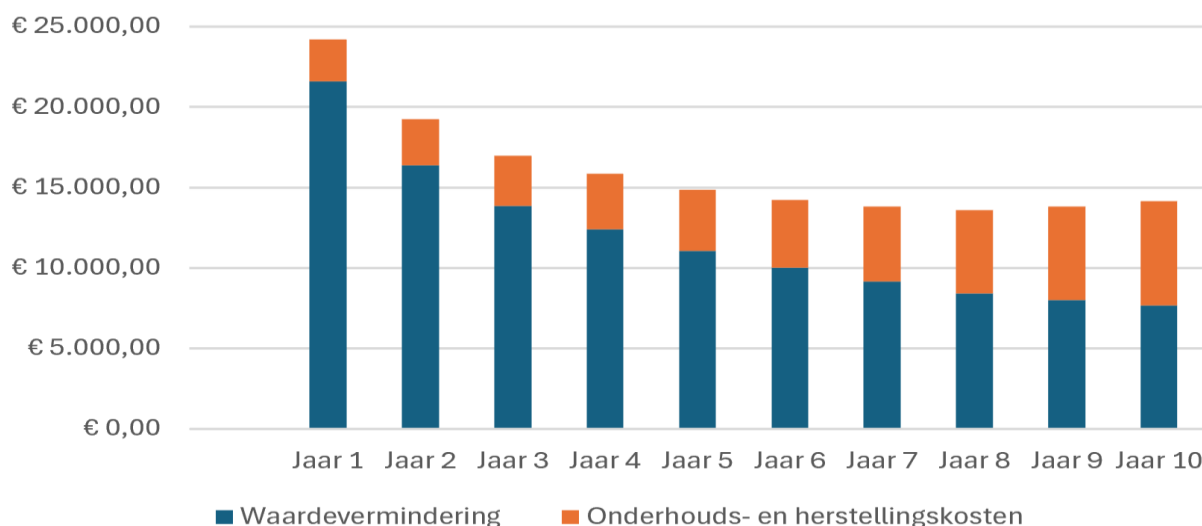
Met een equivalent annual cost van € 16.295,78 wordt niet enkel de fractie $1/n$ van de totale kosten betaald maar ook de geldende interestkost. Indien er geen rekening wordt gehouden met de interestkost dan zou de jaarlijkse gemiddelde kost € 13.598,75 bedragen, wat resulteert in een jaarlijkse interestkost van € 2.500,36. Zonder rekening te houden met de WACC zou de LCCA resulteren in een optimale vervangingsleeftijd van acht in de plaats van negen jaar.

Wegens de dalende marktwaarde van het transportmiddel verlaagd jaarlijks de impact van de disconteringsvoet op de totale kosten. In algemene termen zorgen hogere interestkosten voor een langere economic service life (Blauwens et al., 2020, p. 273). Zoals men kan zien in figuur 11 krimpt de interestkost bij het verlaten van de vervangingsleeftijd.



Figuur 11: Verloop equivalent annual cost en interestkost

Ter bevordering van de interpretatie van de analyse werden al de gemiddelde jaarlijkse kosten zonder rekening te houden met de interestkosten bepaald. Deze cijfers in figuur 12, geven duidelijk zowel het verwachte stijgende verloop bij de onderhouds- en herstellingskosten als het dalend verloop van de depreciatie weer. De som van beide elementen bepaalt het lokaal minimum.



Figuur 12: Verloop waardevermindering en onderhouds- en herstellingskosten

Dankzij het gebrek aan incorporatie van zowel de faal als de “obsolence” kosten dient het resultaat van de analyse genuanceerd te worden. Op basis van deze twee factoren kan een kortere service life mogelijk een realistisch of praktischere optie zijn. Zo kan een verstandige beheerder mogelijk beslissen om de ICE-trekkers na zeven jaar te vervangen, in de plaats van negen jaar. Voor een jaarlijkse meerprijs van slechts € 401,69 koopt de beheerder hiervoor hogere operationele zekerheid, betere kwaliteit van transport en een mogelijk beter imago (Blauwens et al., 2020, p. 269).

Bovenstaande voorbeeld illustreert het belang van het flexibel interpreteren van de resultaatcijfers. Hierbij kan men de onderlinge verschillen in equivalent annual cost (EAC) aanzien als de kost om een nieuwe trekker vroeger in dienst te nemen. Deze kan dan worden vergeleken met de te verwachte faal en “obsolence” kosten.

Ook de mogelijke toenemende onzekerheid in de voorspelde onderhouds- en herstellingskosten moedigen een flexibele interpretatie van de analyse aan. Zo zou een risicomijdende organisatie er voor kunnen kiezen om zijn trekkers vroeger te vervangen aangezien hierdoor de kans op extreme uitschieters wordt verlaagd.

Tot slot kunnen ook de duurzaamheidsambities of in een breder kader de technologievoortgang een reden zijn om een trekker al dan niet vroeger te vervangen. Een kortere service life betekend namelijk dat men als bedrijf sneller beroep kan doen op een duurzamer model, wat dan weer bijdraagt aan het behalen van duurzaamheidsdoelen. Daarbovenop kunnen technologische vooruitgangen ook een invloed hebben op de kostenstructuur van het wagenpark, indien dit resulteert in bijvoorbeeld lagere onderhouds- en herstellingskosten is het voordeliger om de service life in te korten.

6 ELEKTRISCHE CHALLENGER

Desondanks Heavy-duty-trucks slechts 2% van de voertuigen op de weg vertegenwoordigen, zijn ze verantwoordelijk voor 26% van de uitstoot van broeikasgassen van het wegvervoer in Europa. Om de uitstoot van broeikasgassen in de EU te verminderen en tegen 2050 klimaatneutraliteit te bereiken, moeten zware bedrijfsvoertuigen (HDV's) volledig koolstofvrij worden gemaakt (Transport & Environment, 2020a, p. 1).

Na het bepalen van de optimale vervangingsleeftijd van een traditionele ICE-trekker, kan er gekeken worden naar duurzamere elektrische opvolgers (BEV's). Bij het maken van een investeringsbeslissing, houden transporteurs rekening met alle trekker-gerelateerde kosten over de gehele leeftijdspanne van het voertuig. Naast de aankoopkost bevat dit ook de energie en onderhouds- en herstellingskosten. Voor de transitie van traditionele diesel trekkers naar zero-emission vehicle's (ZEV's) zijn er naast de TCO-pariteit ook nog drie operationele vereisten geïdentificeerd (Transport & Environment, 2020a, p. 15). De technisch-economische haalbaarheid van de overschakeling naar emissievrije trekkers (ZEV's) dient rekening te houden met volgende voorwaarden:

- Het vermogen om de dagelijkse afstanden te rijden waarvoor vrachtwagens tegenwoordig in Europa worden gebruikt.
- Het afstemmen van oplaad- en tanktijden op de wettelijk verplichte pauzes voor chauffeurs.
- Vergelijkbare laadcapaciteit als diesel trekkers.

Als TCO-pariteit wordt bereikt en volledig aan de operationele eisen van vervoerders kan worden voldaan, kan een snellere marktopname van emissievrije trekkers worden verwacht op voorwaarde dat er voldoende aanbod van deze ZEV's is. In onderstaande delen wordt nagegaan of er in de specifieke empirische setting van logistieke bedrijven wordt voldaan aan de TCO-pariteit, de drie operationele vereisten worden in deze scriptie niet behandeld.

6.1 TCO-pariteit

Uit onderzoek van Transport & Environment, Europa's grootste NGO die campagne voert voor schoner transport, blijkt dat desondanks elektrische trucks een hogere aankoopkost hebben, ze in staat zullen zijn om een lagere TCO te realiseren in alle vrachtgebruikssituaties. Dit is te danken aan het feit dat de hogere voertuigprijzen worden gecompenseerd door consistent lagere operationele kosten voor energie en onderhouds- en herstellingskosten tijdens het gebruik van de truck (Transport & Environment, 2020a, p. 15).

Om na te gaan of deze TCO-pariteit ook plaatsvindt in de huidige markt, wordt de eerder geanalyseerde defender (ICE-trekker) vergeleken met een TCO analyse van een elektrische challenger (BEV).

6.2 Overzicht kosten

Om de TCO voor zowel de traditionele ICE-truck (defender) als de duurzame elektrische trekker (challenger) te bepalen is er nood aan een diverse set van data. Zo is er nood aan het initiële aankoopbedrag van de trekker, de marktwaarde, de gemiddelde jaarlijkse onderhouds- en herstellingskosten, de interestkost, het verbruik van de trekkers en tot slot de brandstof- en elektriciteitsprijs. Het omvat alle variabele die mogelijks een verschil kunnen genereren in de TCO.

Omdat er momenteel slechts beperkt elektrische trekkers (BEV's) in gebruik zijn heeft werd de ontbrekende informatie in verband de TCO van de challenger verworven uit informatie vanuit de literatuur. Hieronder een oplijsting van de gegevens (uitgedrukt in 2024 eenheden) die werden gebruikt in de TCO-analyse van de defender en de challenger (BEV).

Algemene condities		
Eigendomsperiode van het voertuig	5 jaar	/
Restwaarde na eigendomsperiode	31 % van aankoopwaarde	(Secundaire data Gust Blauwens et al.)
Disconteringsvoet	6,3%	(Secundaire data KPMG)
Aantal kilometers	150.000 km/jaar	(Secundaire data Gust Blauwens et al.)

Gegevens - TCO defender (ICE)		
Aankoopwaarde	€ 89.859,39	(Secundaire data Gust Blauwens et al.)
Onderhouds- en herstellingskosten (intern uitgevoerd)	€ 4.560,90 /jaar	(Secundaire data Gust Blauwens et al.)
Brandstofprijs (diesel B7)	1,3976 €/l	(Secundaire data Statbel)
Brandstofverbruik	0,2695 l/km	(Secundaire data ICCT)
Kilometerheffing	€ 12.500 /jaar	(Secundaire data Vlaamse overheid)

Gegevens - TCO challenger (BEV)		
Aankoopwaarde	€ 385.000,00	(Secundaire data ICCT)
Investeringsaftrek (32%)	€ 123.200,00	(Secundaire data VLAIO)
Onderhouds- en herstellingskosten (extern uitbesteed)	€ 4.800 /jaar	(Persoonlijke communicatie)
Elektriciteitsprijs	€ 0,1336 /kWh	(Secundaire data Eurostat)
Elektriciteitverbruik	1,1850 kWh/km	(Secundaire data ICCT)

Tabel 4: Gegevens TCO-berekening

6.2.1 Algemene condities

Aangezien in de huidige wetenschappelijke literatuur TCO-analyses steeds uitgaan van een eigendomsperiode van vijf jaar, wordt ook in deze masterproef ter bevordering van de validiteit van secundaire data dit ook toegepast. Een bijkomend voordeel is dat de gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten van de defender hierbij slechts één voorspeld datapunt bevat (jaar 5). Dit maakt dat het gemiddelde kerngetal slechts in zeer beperkte mate wordt beïnvloed door de lineaire voorspelling.

Vervolgens wordt net zoals in de literatuur de restwaarde van een elektrische trekker (BEV) gelijkgesteld aan de procentuele marktwaarde van de ICE-trekker. Zoals bij de LCCA bedraagt ook bij de TCO-analyse de marktwaarde van de challenger na vijf jaar 31% van de effectieve aankoopprijs (aankoopwaarde min premie).

Tot slot is het ook bij de TCO analyse het disconteren van kosten met de disconteringsvoet een belangrijk concept. De disconteringsvoet symboliseert zowel de kost die bedrijven moeten betalen op hun geleend kapitaal (weighted average cost of capital) als hun gemiste investeringskans (Tarquin & Blank, 2012, p. 26). Analoog met voorgaande analyse wordt ook hier de WACC van 6,3% toegepast.

6.2.2 Aankoopwaarde

Zoals bij de LCCA reeds werd aangekaart kostte een Ice-trekker in 2020 € 80.000,00. Rekening houdend met inflatie wordt zou de aankoopprijs van deze ICE-trekker in 2024 € 89.859,39 bedragen. De prijsindex van transport transportmaterieel werd toegepast (Federal Reserve Economic Data, 2024b). De aankoopwaarde van een elektrische trekker (BEV) wordt op basis van een meta-study, geschat op € 385.000 voor een elektrische trekker met een actieradius van 600 km (ICCT, 2022, p. 3). Logistieke spelers kunnen dankzij de Ecologiepremie+ genieten van een investeringsaftrek van 32%, waardoor de initiële investering verlaagd wordt tot 261.800 euro (VLAIO, z.d.)

6.2.3 Onderhouds- en herstellingskosten

Uit de LCCA blijkt dat de gemiddelde onderhouds- en herstellingskosten van de defender over vijf jaar € 3.806,20 bedraagt. Rekening houdend met inflatie bekomt men een gemiddelde jaarlijkse onderhoudskost van € 4.560,90 (Federal Reserve Economic Data, 2024a). Het uitbesteden van de onderhouds- en herstellingskosten van een elektrische trekker (BEV) wordt geschat op 4.800 euro per jaar (persoonlijke communicatie, 26 mei 2024). Merk op dat wordt verondersteld dat de onderhouds- en herstellingswerken van de ICE-trekker intern plaatsvindt en die van de BEV extern.

6.2.4 Brandstof- en elektriciteitsprijs

Op basis van openbaar beschikbare data werd de driejarige gemiddelde brandstofprijs (exclusief btw en accijnzen) tussen 2020 en 2023 bepaald (Statbel, 2024). Het resultaat van 1,3976 euro per liter diesel B7 wordt in deze TCO-berekening gehanteerd. De gemiddelde elektriciteitsprijs van 0,1336 euro/kWh voor bedrijven gedurende dezelfde horizon werd ook bepaald op basis van openbaar beschikbare data (Eurostat, 2024). De bekomen prijzen dienen een leidraad te geven over de te verwachten toekomstige prijzen van een trekker die wordt aangekocht anno 2024.

6.2.5 Brandstof- en elektriciteitsverbruik

Brandstofverbruik van dieseltrekkers worden geschat op een gemiddelde van 0,2695 liter per kilometer en het elektriciteitsverbruik van elektrische trekkers (BEV) op 1,1850 kWh/km (ICCT, 2021). Om dit cijfer te bekomen werd het gemiddelde genomen tussen het geschatte verbruik in jaar 2020 en het voorspelde verbruik in 2030. Het gemiddelde dient een leidraad te geven over het te verwachten verbruik van een trekker die wordt aangekocht anno 2024.

6.2.6 Belastingkost voor traditionele ICE-trekkers

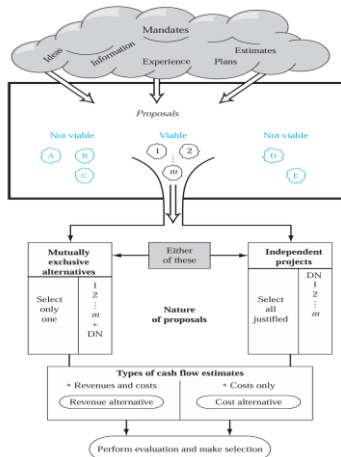
Eigenaars van vrachtwagens moeten in ruil voor het gebruik van autosnelwegen en bepaalde gewest- en gemeentewegen in België verplicht een kilometerheffing te betalen. Met een kost van 0,183 euro per kilometer wordt er geschat dat de defender (die internationaal actief is) hiervoor jaarlijks 12.500 euro moet betalen. Aangezien emissievrije voertuigen sinds 1 januari 2024 hiervan zijn vrijgesteld, werd deze kost enkel toegekend aan de traditionele defender (Vlaamse overheid, z.d.). In deze masterproef wordt verondersteld dat deze investeringsmaatregel ten minste komende 5 jaar actief zal blijven.

Aangezien er momenteel enkel een CO₂-tol wordt gehoffen in Duitsland, Oostenrijk en Tsjechië wordt deze kost niet toegevoegd aan deze TCO-analyse (CO₂-Tol in Europa | UTA Edenred, z.d.). Indien er in de toekomst meerdere landen bedrijfsvoertuigen zwaarder dan 7,5 ton een CO₂-emissiegerelateerde vrachtwagentol gaan aanrekenen, dient deze kost tot de berekening toegevoegd te worden.

In deze analyse wordt ook geen rekening gehouden met buitenlandse kilometerheffingen, indien deze duidelijk kwantificeerbaar is, is het raadzaam deze wel toe te voegen. Ook de toekomstige kosten die het gevolg zijn van het toekomstig Europese emissiehandelssysteem voor transport (ETS₂-systeem) zijn niet opgenomen. Het is momenteel namelijk zeer onduidelijk hoe het emissiehandelssysteem een invloed zal uitoefenen op de lidstaten hun lokaal geldende kilometerbelastingen, het is hoogst waarschijnlijk dat deze herbekeken zullen worden om een dubbele belasting te vermijden.

6.3 TCO berekening

De TCO-berekening vindt plaats binnen het proces van een “present worth analysis” beschreven door Tarquin en Blank (2012, p. 130). Zo werd zowel de defender (ICE-trekker) als challenger (BEV) vanuit technologisch, ecologisch en juridisch perspectief gecategoriseerd als haalbaar.

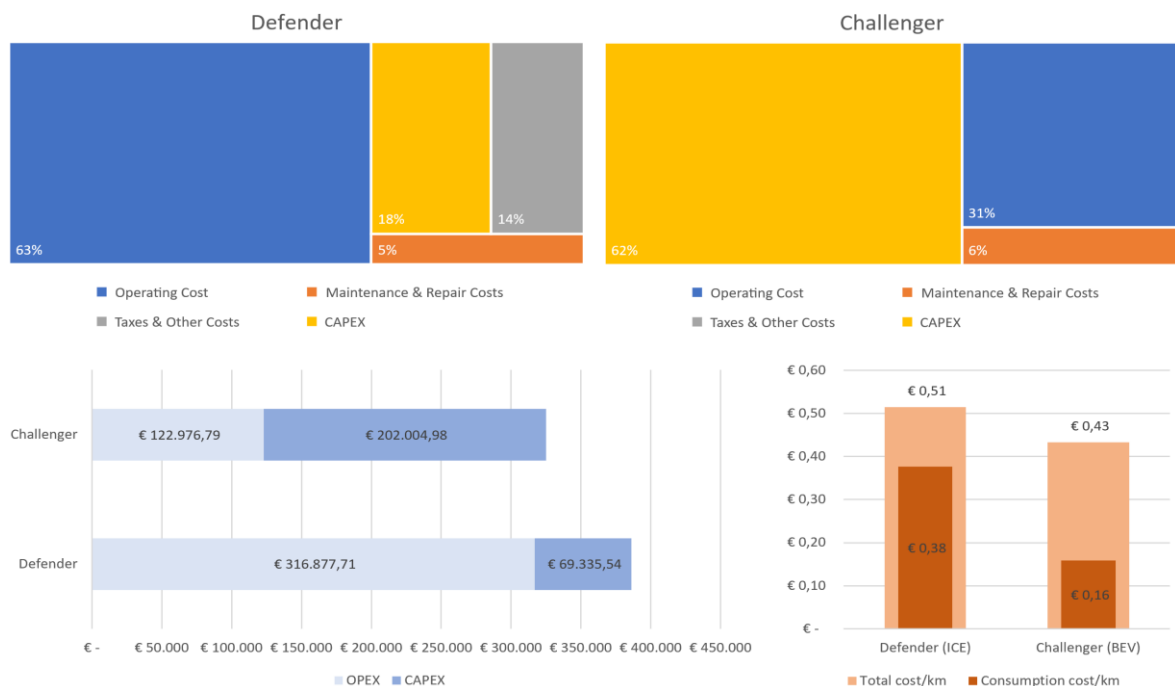


Figuur 13: Progression from proposals to economic evaluation to selection (Tarquin & Blank, 2012)

Vervolgens werd de TCO-berekening toegepast op de wederzijds uitsluitende alternatieven, waarbij slechts één van de voorstellen kan worden geselecteerd. Onderling uitsluitende alternatieven concurreren met elkaar en worden paarsgewijs vergeleken (Tarquin & Blank, 2012, p. 131).

Voor beiden alternatieven wordt er enkel rekening gehouden met de te verwachten kosten die een invloed hebben op de beslissing. De inkomsten worden gelijk geacht voor alle alternatieven waardoor ze dus niet afhankelijk zijn van het gekozen alternatief.

Er wordt verondersteld dat met uitzondering van de restwaarde, dat alle kosten in de helft van het jaar betaald worden. Bij de restwaarde wordt verwacht dat de cashflow vloeiende uit de verkoop van de trekker op het einde van het jaar zal plaatsvinden. De uitvoering van de TCO-berekening, zonder rekening te houden met toekomstige inflatie, resulteert in onderstaande resultaten.



Figuur 14: Resultaat TCO-analyse

Vehicle Life Cycle Cost Analysis - defender (ICE)

General Conditions		
Period of Vehicle Ownership	Year	5
Discount Rate	%	6,3%
Number of Vehicles		1

Acquisition Costs		
Vehicle model		
Purchase Price	€/Unit	€ 89.859,39
Premium	€/Unit	€ -
Transaction/ additional cost	€/Unit	€ -
Costs of Acquisition		€ 89.859,39

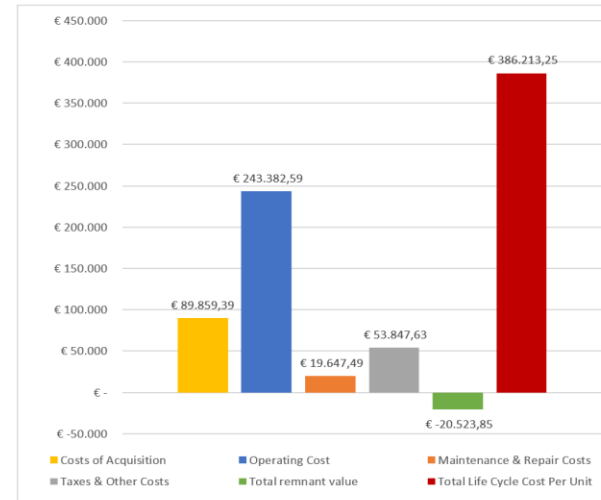
Operating Cost Per Vehicle		
Annual Use of Vehicle	km	150.000,00
Type of Fuel		B7
Fuel Consumption Per Vehicle	l/km	0,2695
Fuel Price	€/l	€ 1,398
Operating Cost		€ 243.382,59

Maintenance & Repair Costs Per Vehicle		
Annual Maintenance Costs	€/Unit/Year	€ 4.560,90
Annual Service Agreement (OR)	€/Unit/Year	
Maintenance & Repair Costs		€ 19.647,49

Taxes & Other Costs Per Vehicle		
Road Tax	€/Unit/Year	€ 12.500,00
Toll Tax	€/Unit/Year	€ -
Emission cost (ETS2)	€/Unit/Year	€ -
Infrastructure	€/Year	€ -
Taxes & Other Costs		€ 53.847,63

End of Life		
Market Value / buy-back (31%)	€/unit	€ -27.856,41
Total remnant value		€ -20.523,85

Total Life Cycle Cost Per Unit		€ 386.213,25
Total Life Cycle Cost All Units		€ 386.213,25



Vehicle Life Cycle Cost Analysis - challenger (BEV)

General Conditions		
Period of Vehicle Ownership	Year	5
Discount Rate	%	6,3%
Number of Vehicles		1

Acquisition Costs		
Vehicle model		
Purchase Price	€/Unit	€ 385.000,00
Premium	€/Unit	€ 123.200,00
Transaction/ additional cost	€/Unit	€ -
Costs of Acquisition		€ 261.800,00

Operating Cost Per Vehicle		
Annual Use of Vehicle	km	150.000,00
Type of Fuel		Electric
Fuel Consumption Per Vehicle	Kwh/km	1,185
Electricity Price	€/KWh	€ 0,134
Operating Cost		€ 102.299,30

Maintenance & Repair Costs Per Vehicle		
Annual Maintenance Costs	€/Unit/Year	€ 4.800,00
Annual Service Agreement (OR)	€/Unit/Year	
Maintenance & Repair Costs		€ 20.677,49

Taxes & Other Costs Per Vehicle		
Road Tax	€/Unit/Year	€ -
Toll Tax	€/Unit/Year	€ -
Emission cost (ETS2)	€/Unit/Year	€ -
Infrastructure	€/Year	€ -
Taxes & Other Costs		€ -

End of Life		
Market Value / buy-back (31%)	€/unit	€ -81.158,00
Total remnant value		€ -59.795,02

Total Life Cycle Cost Per Unit		€ 324.981,77
Total Life Cycle Cost All Units		€ 324.981,77



Figuur 15: Visualisatie ontwikkelde TCO-model

6.4 Evaluatie uitkomst TCO-analyse

De TCO-analyse geeft aan dat anno 2024 de TCO-pariteit voorwaarden tussen traditioneel brandstof verbruikende trekkers (defender) en duurzame elektrische trekkers (challenger) reeds voldaan is. Met abstractie van de drie operationele vereisten is in de specifieke empirische setting van logistieke bedrijven het goedkoper om te rijden met een elektrische trekker dan met een traditionele brandstof verbruikende. Merk op dat het TCO-resultaat zeer gevoelig is voor schommelingen in energieprijzen.

Met een totale kost van € 324.981,77 ten opzichte van € 386.213,25 is de elektrische trekker 15,85% goedkoper in uitvoering. De TCO-analyse geeft aan dat challenger met een kost per kilometer van 43 cent (excl. banden en arbeidskost) goedkoper is om te exploiteren dan de traditionele defender.

De verhouding van de verklarende variabele gedragen zich in beide alternatieven compleet anders. Waar de CAPEX (rekening houdend met de restwaarde) slechts 18% vertegenwoordigt bij de defender bedraagt deze bij de challenger 62%. Deze toename wordt gecounterd door zowel een daling in operationele kosten als de volledige eliminatie van de belastingen. Tot slot liggen de verhouding onderhouds- en herstellingskosten bij de challenger 1% hoger dan bij de defender.

In absolute cijfers ligt de operating cost (over vijf jaar) van de defender € 141.083,29 hoger dan die van de challenger. Aangezien deze variabele een grote bijdrage heeft tot competitiviteit van de challenger, zullen trekkers die meer jaarlijkse kilometers verwachten uit te voeren sneller een TCO-pariteit bereiken. De onderhouds- en herstellingskosten van de elektrische challenger daarentegen liggen € 1.030,00 hoger dan de bij de defender, echter heeft deze kost wegens de minimale doorweging slechts een beperkte invloed op het resultaat.

Het surplus in absolute cijfers per wagen bedraagt 61.231,48 euro, en kan geïnterpreteerd worden als het beschikbaar kapitaal om te investeren in de benodigde infrastructuur om te voldoen aan de eerder besproken “drie operationele vereisten”.

6.4.1 Belang van tussenkomst overheid

Dankzij de tussenkomst van de overheid kan de challenger momenteel genieten van een doorwegende voorkeursbehandeling. Dankzij de ecologiepremie, een financiële tegemoetkoming voor ondernemingen die ecologie-investeringen, kunnen kmo's beroep doen op een premie van 32% van de aankoopprijs (Emissievrije Voertuigen Steun | VLAIO, z.d.).

Daarnaast genieten sinds januari 2024 emissievrije voertuigen (ZEV's) van een vrijstelling van de jaarlijkse kilometerheffing (Vlaamse overheid, z.d.). Uit de TCO-analyse blijkt beide stimuleringsmaatregelen een significante impact op de resultaten hebben. De TCO-pariteit wordt nog steeds voldaan bij een tenietdoening van de vrijstelling. Dit is te wijten aan de hoge jaarlijkse kilometers waarvan die forse daling in operationele kosten de TCO-pariteit doet blijven garanderen.

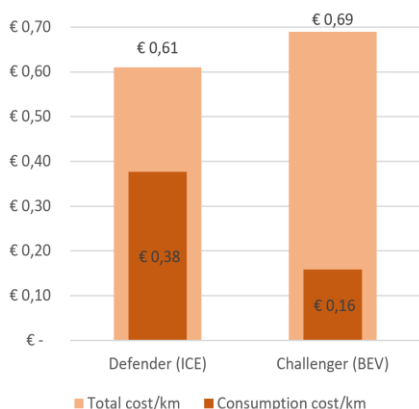
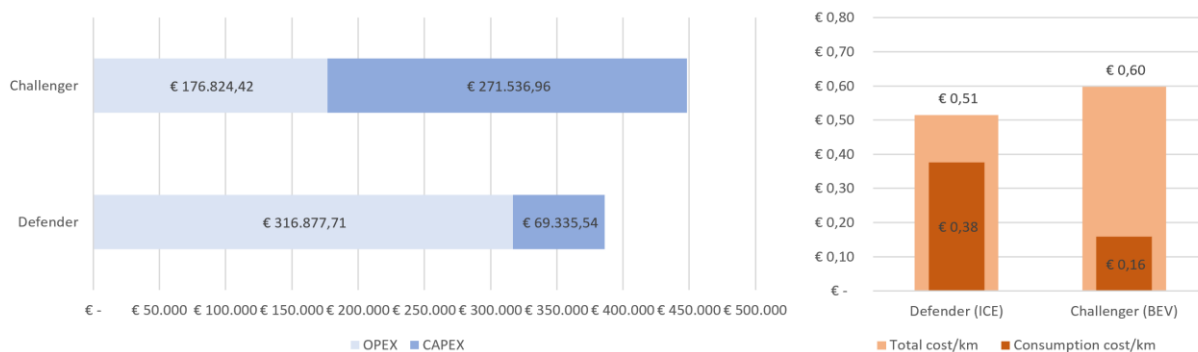


Figure 16: TCO-resultaat zonder vrijstelling voor trekker die jaarlijks 100.000 kilometer rijdt.

Wanneer er verondersteld wordt dat de jaarlijkse afgelegde kilometers 100 duizend bedraagt (andere variabele blijven constant) dan verliest de challenger zijn competitiviteit. Zoals men kan zien in figuur 16, is de challenger hierbij 12,99% duurder in gebruik.

Hierdoor kan men vaststellen dat de TCO-pariteit voor sommige logistieke spelers pas sinds de invoer van de vrijstelling een feit is. De effectieve maatregel van de overheid heeft dus een doorslaggevend effect op de consideratie van BEV's.

Indien ook de aankooppremie en dus daarmee alle stimuleringsmaatregelen zouden wegvallen komen de pijnpunten in elektrische technologie naar boven. Zo geeft de TCO-analyse aan dat zelfs de BEV die 150 duizend km per jaar rijdt zonder stimuleringsmaatregelen 16,09% duurder is dan de defender. Zonder stimuleringsmaatregelen verliest de duurzame challenger zijn competitiviteit volledig.



Figuur 17: TCO-resultaat zonder stimuleringsmaatregelen voor trekker die jaarlijks 150.000 kilometer rijdt.

Desondanks de stimuleringsmaatregelen gedurende een transitieperiode hun nut bewijzen, is het langs een overheidsperspectief budgettair gezien onmogelijk om deze op lange termijn structureel te blijven aanhouden. Om de TCO-pariteit in de toekomst te garanderen, is er nood aan een verdere daling van aankooprijzen. Deze kunnen mogelijks veroorzaakt worden door zowel technologievoortgang als schaalvoordelen in de productiefase. Merk op dat in deze analyse wordt verondersteld dat de opheffing van de kilometerheffing de komende vijf jaar zal blijven bestaan.

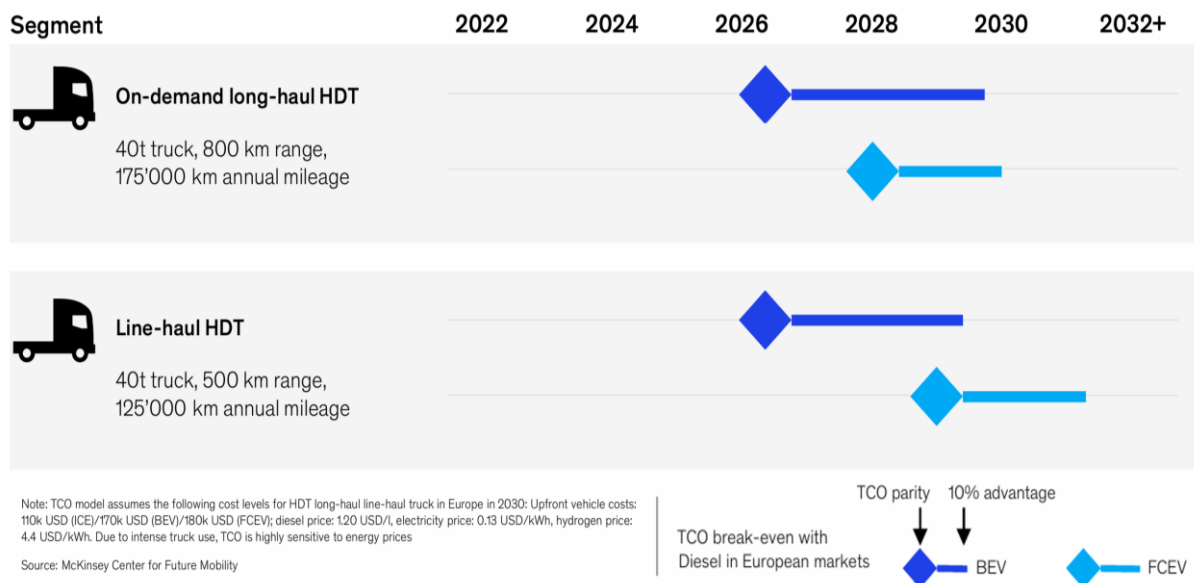
6.4.2 Roadmap to net-zero emissions

Ook een onderzoek van het McKinsey Center for Future Mobility, geeft aan dat regelgeving ten gunste van nul-emissie-voertuigen helpt om de overgang te stimuleren. Daarnaast zal het ook de inzet van batterij-elektrische voertuigen (BEV) in dit decennium versnellen (McKinsey and Company, 2022, p. 6).

Terwijl sommige regelgevende interventies de TCO voor emissievrije vrachtwagens verlagen, werken ook de producenten in de sector aan innovaties met betrekking tot de nieuwe technologie. Het belangrijkste doel is om de kosten verder te verlagen voor elementen zoals accu's, brandstofcellen en waterstof om nul-emissie-vrachtwagens economisch concurrerend te maken met hun diesel equivalenten. In het volgende decennium verwachten McKinsey and Company een steile en aanhoudende leercurve voor op onder andere het gebied van batterijen (2022, p. 6).

In het begin, zal de overgang naar elektrische trekkers nog stimuleringsmaatregelen vereisen, maar al snel, zullen de verwachte superieure TCO-prestaties een groot deel van de BEV-aandrijflijnen op de markt brengen (McKinsey and Company, 2022, p. 28).

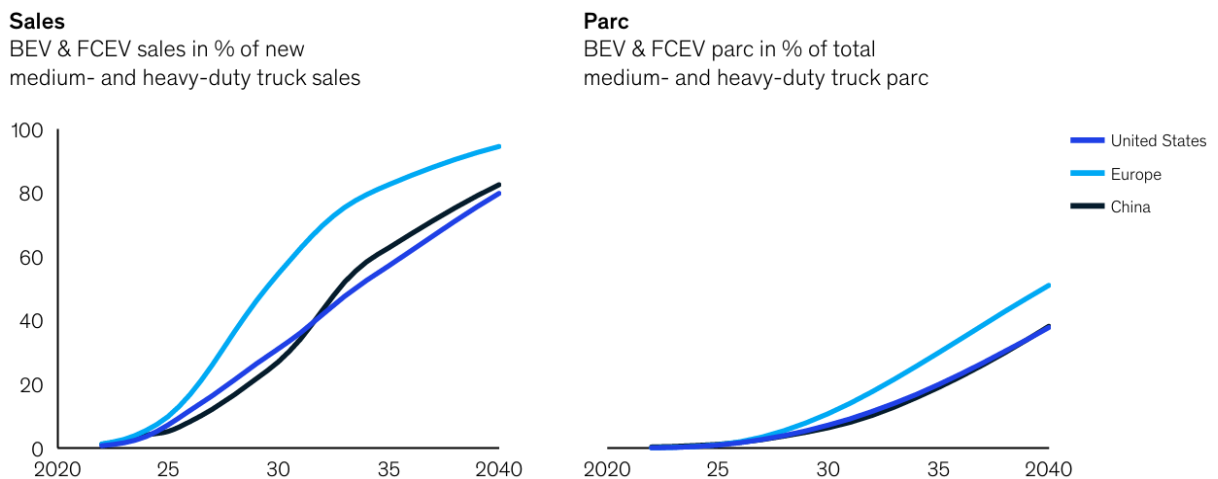
Aangezien wagenparkbeheerders veel gevoeliger zijn voor kosten dan particuliere autokopers, is de TCO een doorslaggevende factor. McKinsey and Company verwacht dat trekkers met een gemiddelde van 125.000 km per jaar tegen 2026 zonder enige vorm van steunmaatregelen door de overheid een TCO-pariteit zullen bereiken. Afhankelijk van de gebruikssituatie kunnen op de lange termijn de TCO-besparingen ten opzichte van ICE-trekkers zelfs oplopen tot 30 procent.



Figuur 18: TCO parity in years by use case in Europe (McKinsey and Company, 2022)

Desondanks is de weg naar emissievrije vrachtwagens bezaaid met onzekerheden. Naast dat elektrische trekkers verschillende profielen hebben wat betreft technologie kosten, operationele beperkingen en infrastructuur beschikbaarheid is er ook nog nood aan het ontwikkelen van technologische maturiteit (Mckinsey and Company, 2022, p. 28). Voordat een massa adoptie kan plaatsvinden moeten wagenparkbeheerders evenveel vertrouwen hebben in de nieuwe technologie als in de huidige dieselvrachtwagens.

Echter zal dit alleen niet genoeg zijn aangezien Mckinsey and Company raamt dat er meer dan USD 450 miljard dollar aan investeringen nodig zijn om van nieuwe oplaad- en tankinfrastructuren te voorzien. Deze investeringen zijn nodig voordat nulmissie-vrachtwagens op grote schaal kunnen worden ingezet, maar ze zullen pas renderen als het wagenpark hiervoor groot is (2022, p. 28). Deze investeringen mogen niet te lang op zich wachten aangezien men verwacht dat tegen 2040, 100% van de verkopen zal bestaan uit BEV's en FCEV's.



Figuur 19: By 20235, majority of new trucks will be electric in US, EU & China (Mckinsey and Company, 2022)

Een bijkomende voordelen gedurende de toenemende adoptie van elektrische trekkers is de schaalvergroting in vrachtwagenproductie, die de kosten per eenheid verder zal doen dalen. Een combinatie van elementen zou resulteren in een aanzienlijk lagere total cost of ownership (TCO) in vergelijking met de huidige dieseltrucks (Mckinsey and Company, 2022, p. 7)

Ook het International Transport Forum, deelt bovenstaande resultaten en voegt toe dat als het wegtransport tegen 2050 een netto-uitstoot van broeikasgassen wil bereiken dan moeten emissievrije voertuigen 100% van de verkopen vertegenwoordigen in 2040 (2023, p. 9).

7 MANAGEMENTBESLISSING IN DE PRAKTIJK

7.1 Optimale vervangingsleeftijd traditionele ICE-trekker (defender)

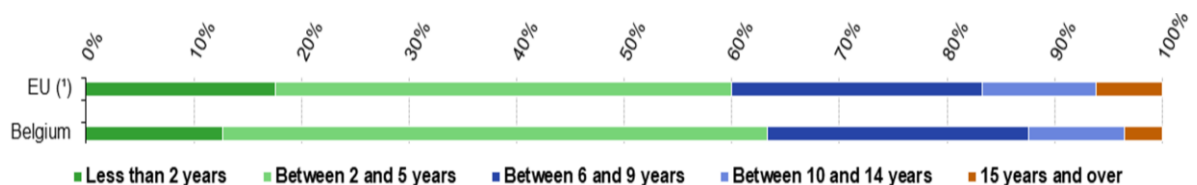
7.1.1 Tendens in de praktijk

Uit literatuuronderzoek blijkt dat er verschillende methodes zijn om het fleet replacement problem te behandelen. Onderzoek van de Oregon State University in opdracht van Oregon Department of Transportation, bracht in kaart welke methodes er effectief in de praktijk werden gehanteerd. Uit een bevraging van negen departementen van transport uit de Verenigde Staten bleek dat 89% gebruik maakt van een selectie van vaste normen (leeftijd en kilometerstand) die voortkomen uit ervaring en dus niet op basis van data (Oregon State University, 2009, p. 12). Logistieke spelers achten bij het maken van een beslissing in verband het wagenpark veel belang aan zowel de OPEX, de operationele inzetbaarheid als ook duurzaamheid en verkeersveiligheid.

Uit het literatuuronderzoek en de enquête concludeerde het onderzoek van de Oregon State University dat: “er een discrepantie bestaat tussen theorie en praktijk. Desondanks de huidige literatuur een veelheid aan methodologieën aanbiedt - waarvan LCCA de meest prominente is – paste geen van de ondervraagde deze methodologieën toe” (2009). In plaats daarvan wordt er in de praktijk vooral gebruik gemaakt van eenvoudige vooropgestelde normen gebaseerd op ervaring en dus afzien van theoretische rechtvaardigingen. De resultaten tonen aan dat er opportuniteiten zijn om de kwantitatieve benadering toe te passen op de manier waarop bedrijven hun vervangingsbeleid bepalen (Oregon State University, 2009, p. 13).

7.1.2 Trends in de praktijk

Op Europees niveau stelt men vast dat goederenvoertuigen van 5 jaar of jonger in 2022 goed zijn voor 60,0% van het totale aantal voertuigkilometers, terwijl goederenvoertuigen van 10 jaar of ouder slechts 16,7% voor hun rekening namen. Ook in België worden deze trends min of meer gevolgd, waardoor men grofweg kan concluderen dat goederenvoertuigen in België meestal wordt uitgevoerd door voertuigen jonger dan 5 jaar (Eurostat, 2023).



Figuur 20: Road freight transport by age of vehicle in 2022 expressed in % share in vehicle-kilometres *Malta excluded (Eurostat, 2023)

7.2 Investeren in elektrische trekker (challenger)

Uit de jaarlijks publicatie van het International Council on Clean Transportation, blijkt dat in 2023 er 2.600 emissievrije zware vrachtwagens werden verkocht in de EU-27 (2024). Desondanks dit een sterke stijging is met 820 exemplaren in 2022, bedragen elektrische zware vrachtwagens in 2023 nog maar uit 0,9% van alle zware vrachtwagens die verkocht werden. Hierbij verkocht Volvo Trucks met een aandeel van 42% de meeste zero-emissie zware trucks (ICCT,2024).

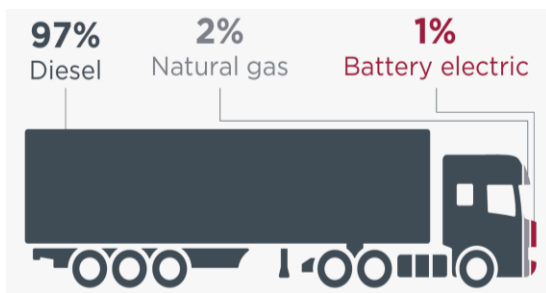


Figure 21: Sales of heavy duty trucks by powertrain (ICCT,2024)

Men kan vaststellen dat de transitie naar BEV's door logistieke spelers nog niet in volle adoptie is. Om echter de opgelegde emissie-doelen met bijhorende boetenclausules te vermijden zullen producenten in te toekomst verder moeten inzetten op het produceren en verkopen van elektrische trekkers.

In de literatuur en praktijk wordt er vaak analoog aan particulier wagens, uitgegaan dat onderhouds- en herstellingskosten van een BEV lager liggen. Echter geeft een gewaardeerde producent van trekkers, aan dat anno 2024 de feitelijke onderhouds- en herstellingskosten van een BEV hoger liggen dan die van een ICE-trekker. Desondanks ziet de leverancier in de markt, dat er spelers zijn die hun commerciële onderhoudscontracten van BEV lager prijzen dan die van ICE-trekkers. Dit vermoedelijk met als doel zich enerzijds in de markt te positioneren als ook om, onder druk van de Europese opgelegde targets, de elektrificatietransitie te doen versnellen. De producent geeft tot slot aan dat de onderhouds- en herstellingskosten van BEV in de toekomst, bij gelijk productie niveau, wel lager zullen liggen. Al zal de mate van het prijsverschil vooral bepaald worden door de afspraken in verband het vervangen van de hoogvoltcomponenten (persoonlijke communicatie, 16 mei 2024).

8 BELEIDSAANBEVELINGEN EN CONCLUSIE

In dit onderzoek werd er een single-case study uitgevoerd op basis van kwantitatieve analyses en kwalitatieve interviews. De studie tracht de vraag “Hoe kan het uitvoeren van een Life Cycle Cost Analysis en een Total Cost of Ownership-analyse logistieke bedrijven ondersteunen bij het vormgeven van hun fleet replacement strategy?” te beantwoorden.

Uit onderzoek blijkt dat de Europese Unie erkent dat de snelheid van de decarbonisatie van het wegvervoer voor een groot deel zal afhangen van de vernieuwing van het wagenpark. Om bij te dragen aan de doelstelling van een klimaatneutraal EU alsook aan de mogelijke interne duurzaamheidsambitie dient de logistieke speler na te gaan hoe men systematisch kan overschakelen naar voertuigen met lagere emissies.

Aangezien de huidige fleet replacement strategy van logistieke bedrijven voornamelijk is gebaseerd op praktijkkennis waarbij vaak geen rekening werd gehouden met inflatie en een interestkost, worden wagenparkbeheerders aanbevolen om hun strategie vorm te geven op basis van een Life Cycle Cost Analysis. Omdat een beslissing over het wagenpark een directe impact heeft op zowel de prestaties, efficiëntie als het serviceniveau van een logistiek bedrijf, is er nood aan theoretisch onderbouwde analyses. Een uitvoering van een LCCA stelt hen in staat om een optimale vervangingsleeftijd te bepalen.

Desondanks de LCCA resulteerde in een vervangingsleeftijd van 9 jaar, worden logistieke spelers aanbevolen om wegens hun mogelijke duurzaamheidsambities, de technologievoortgang en de niet in het model opgenomen “obsolescence”- en faalkosten hun trekker te vervangen na 7 of zelfs 6 jaar.

Vervolgens blijkt uit de TCO-analyse dat er in anno 2024, puur op vlak van rollend materiaal, reeds een TCO-pariteit werd bereikt tussen ICE-trekkers en BEV's. Op basis van dit resultaat worden logistieke wagenparkbeheerders aangeraden om voor elke toekomstige ICE-trekker die zijn economic service life bereikt, te overwegen deze te vervangen door een duurzame elektrische opvolger.

Aangezien de TCO-analyse identificeerde dat de huidige effectieve steunmaatregelen van de overheid cruciaal zijn voor het bereiken van een TCO-pariteit, worden logistieke spelers geadviseerd om de marktsituatie nauw in de gaten te houden. Aangezien de huidige steunmaatregelen niet structureel zijn, maakt dat toekomstige dalingen in de aankoopwaarde van BEV's cruciaal zijn om een TCO-pariteit te garanderen.

Ook de overheid dient de prijsevolutie op de markt nauwgezet op te volgen om vervolgens hun steunmaatregelen hierop af te stemmen. Zo werd er in de TCO-analyse geïdentificeerd dat wanneer de overheid de kilometerheffing vrijstelling voor BEV's binnen de vijf jaar stopzet dat de TCO-pariteit van reeds gemaakte investeringen mogelijks in gedrang komen. Om deze onzekerheid te vermijden dient hierover transparant gecommuniceerd te worden.

Men kan concluderen dat een snellere vervangleeftijd van zes of zeven jaar impliceert dat een duurzamere opvolger met een lagere Total Cost of Ownership sneller in werking kan treden. Dit is dan weer van belang voor logistieke bedrijven die zich wensen te profileren als duurzame logistieke partner alsook voor het behalen van de "Fit for 55"- doelstellingen van de Europese Unie.

Het onderzoek concludeert dat de combinatie van een Life Cycle Cost Analysis met de TCO-analyse voldoende informatie genereert voor logistieke wagenparkbeheerder om hun fleet replacement strategy onderbouwd vorm te geven. Beide analyses kunnen een hoge toegevoegde waarde creëren bij het maken van wetenschappelijk onderbouwde beslissingen. Wegens de impact van de beslissing alsook de invloed van de variabelen op de resultaten, is het van essentieel belang om als logistieke speler de analyses uitsluitend te voeden met zeer betrouwbare (primaire) data.

8.1 Toekomstig onderzoek

Om de overgang van ICE-trekkers naar elektrische opvolgers te faciliteren is er nood aan extra onderzoek naar de operationele vereisten die nodig zijn om de transitie naar BEV's in de praktijk te verwezenlijken. Ook de toevoeging van een repair limiet aan de LCCA is van cruciaal belang aangezien momenteel gedurende de economic service life wordt verondersteld dat elke grootteorde van herstellingskost wordt uitgevoerd.

Ook een uitgebreid onderzoek naar het gedrag van de onderhouds- en herstellingskosten in functie van de dienstleeftijd van de trekker resulteren in mogelijks betere kostenvoorspellingen. Deze dragen dan weer bij aan de betrouwbaarheid van de LCCA-resultaten. Tot slot kan het een interessante piste kunnen zijn om de relatie tussen de spreiding in data van onderhouds- en herstellingskosten met potentiële faalkosten te onderzoeken.

9 BIBLIOGRAFIE

- Blauwens, G., De Baere, P., & Van De Voorde, E. (2020). Investing in vehicles. In *Transport Economics* (7th ed., pp. 257–280). Van In.
<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:002858119>
- CO2-Tol in Europa | UTA Edenred*. (n.d.). <https://web.uta.com/nl/co2-maut-europa>
- Dienst Klimaatverandering - Belgische overheid. (2024, March 15). *Nationale inventaris broeikasgasemissies België*. Klimaat.be. <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/uitstoot-van-broeikasgassen/uitstoot-per-sector>
- Ernst & Young. (2015). Own or lease: Are you making the right choice for your truck fleet? *Performance*, 5(1), 41–47. <https://thefreightguru.io/wp-content/uploads/2021/04/Lease-Vs.-Own.pdf>
- Euro NCAP. (2022). *Truck safety*. <https://www.euroncap.com/en/truck-van-safety/safer-trucks/>
- European Council. (2023, December). *Fit for 55*.
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- European council. (2024, February 9). *Heavy-duty vehicles: Council and Parliament reach a deal to lower CO2 emissions from trucks, buses and trailers* [Press release].
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/01/18/heavy-duty-vehicles-council-and-parliament-reach-a-deal-to-lower-co2-emissions-from-trucks-buses-and-trailers/>
- European Environment Agency. (2022). *Reducing greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles in Europe*. <https://doi.org/10.2800/066953>

European Environment Agency. (2023a). *Transport and Environment Report 2022*.

<https://doi.org/10.2800/47438>

European Environment Agency. (2023b). *Trends and projections in Europe 2023*.

<https://doi.org/10.2800/595102>

European Commission. (n.d.). *ETS2 : buildings, road transport and additional sectors*. Climate Action. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en)

[ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en)

Eurostat. (2023). *Road freight transport by vehicle characteristics*.

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics#The_EU_fleet_of_goods_vehicles)

[explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics#The_E](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics#The_EU_fleet_of_goods_vehicles)

[U_fleet_of_goods_vehicles](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics#The_EU_fleet_of_goods_vehicles)

Eurostat. (2024). *Electricity prices for non-household consumers* [Dataset]. Eurostat - statistical office of the European Union.

[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205\\$defaultview/default/table?](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205$defaultview/default/table?lang=en)

[lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205$defaultview/default/table?lang=en)

Federal Reserve Economic Data. (2024a). *Producer Price Index by Commodity: Repair and Maintenance Services* [Dataset]. <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU551>

Federal Reserve Economic Data. (2024b). *Producer Price Index by Commodity:*

Transportation Equipment [Dataset]. <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU14>

Ghani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control (Wiley Interscience Series in Systems and Optimization)*.

<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1208404>

Gillis, S. & Harvard Business Review. (2024, March 1). *Adapt Your Strategy to Higher*

Interest Rates. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2024/03/adapt-your-strategy-to-higher-interest-rates>

Grandsberg, D., Popescu, C. M., & Ryan, R. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. Taylor and Francis Books.

https://www.researchgate.net/publication/342691158_Equipment_Life_and_Replacement_Procedures

Gransberg, D. (2015). *Major Equipment Life-cycle Cost Analysis* (MN/RC 2015-16).

<https://intrans.iastate.edu/research/completed/major-equipment-life-cycle-cost-analysis/>

Hastings, N. a. J. (2015). *Physical Asset Management*. In *Springer eBooks*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14777-2>

Houston city department. (n.d.). *Houston Vision Zero Action Plan*.

https://www.houstontx.gov/visionzero/pdf/VZAP_Final%20Report.pdf

IBM. (2023, December 7). *What is Fleet Management? | IBM*.

<https://www.ibm.com/topics/fleet-management#:~:text=Fleet%20management%20can%20provide%20either%20the%20predictive%20or,and%20increase%20the%20number%20of%20customers%20they%20serve.>

ICCT. (2021). *Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: battery electric versus diesel*.

<https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-tractor-trailers-in-europe-battery-electric-versus-diesel/>

ICCT. (2022, April 5). *A meta-study of purchase costs for zero-emission trucks - International Council on Clean Transportation*. International Council on Clean Transportation.

<https://theicct.org/publication/purchase-cost-ze-trucks-feb22/>

ICCT. (2024). *European Heavy-duty vehicle market development 2023*. https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/03/ID-125-%E2%80%93-EU-R2Z-2023_final-1.pdf

KPMG. (2021). *Cost of Capital study 2020*.

<https://kpmg.com/de/en/home/insights/2020/10/cost-of-capital-study-2020.html>

Mckinsey and Company. (2022). *Preparing the world for zero emission trucks*.

<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/preparing%20the%20world%20for%20zero%20emission%20trucks/preparing-the-world-for-zero-emission-trucks-f.pdf>

Mortelmans, D. (2020). *Handboek kwalitatieve onderzoeksmethoden*.

<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:002971562>

Nova-Institute. (2022, July 14). *Fit for 55: The EU's plan for a green transition - Renewable Carbon News*. Renewable Carbon News. <https://renewable-carbon.eu/news/fit-for-55-the-eus-plan-for-a-green-transition/>

Oregon State University. (2009). *Fleet Replacement Modeling (FHWA-OR-RD-10-01)*.

http://www.oregon.gov/ODOT/Programs/ResearchDocuments/Fleet_Model.pdf

Redmer, A. (2016). Strategic Vehicle fleet Management - the replacement problem. *Logforum Scientific Journal of Logistics, Volume 12*(Issue 12), 18.

<https://doi.org/10.17270/J.LOG.2016.1.2>

Scribbr. (2022a). *Inductief en deductief redeneren*. <https://www.scribbr.nl/scriptie-tips/deductief-inductief/>

Scribbr. (2022b, August 22). *Correlatie begrijpen en berekenen met SPSS en Excel / stappenplan*. <https://www.scribbr.nl/statistiek/correlatie/>

Statbel. (2024, May). *Gemiddeld officieel tarief van de aardolieproducten in euro*.

<https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=3a4cfb82-0c67-4f97-94f3-58b2509763ab>

- Tarquin, A., & Blank, L. T. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
https://books.google.be/books/about/Engineering_Economy.html?id=3HRgzgAACAAJ&redir_esc=y
- The International Transport Forum. (2023). *How governments can bring low-emission trucks to our roads – and fast*. <https://doi.org/10.1787/80680242-en>
- Transport & Environment. (2020a). *Electric trucks take charge*.
<https://www.transportenvironment.org/articles/electric-trucks-take-charge>
- Transport & Environment. (2020b). *Techno-economic uptake potential of zero emission trucks in Europe* (No. 2022-STL-REP-100346496).
<https://www.transportenvironment.org/discover/electric-trucks-take-charge/>
- United Nations. (n.d.). *THE 17 GOALS / Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/goals>
- United Nations Development Programme. (n.d.). *Sustainable development goals*. UNDP.
<https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- Vlaamse overheid. (n.d.). *Tijdelijke vrijstelling betalingsverplichting voor emissievrij vrachtvervoer*. www.vlaanderen.be.
<https://www.vlaanderen.be/kilometerheffing/tijdelijke-vrijstelling-betalingsverplichting-voor-emissievrij-vrachtvervoer>
- VLAIO. (n.d.). *Emissievrije voertuigen steun / VLAIO*. <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidedatabank/emissievrije-voertuigen-steun>

10 BIJLAGE

Bijlage A

SAMENVATTING UITVOER										
<i>Gegevens voor de regressie</i>										
Regressie analyse	Meervoudige correlatiecoëfficiënt R	0,999999988								
	R-kwadraat	0,999999977								
	Aangepaste kleinste kwadraat	0,999999969								
	Standaardfout	4,87808E-05								
	Waarnemingen	5								
	Variantie-analyse									
		<i>Vrijheidsgraden</i>	<i>Kwadratensom</i>	<i>Gemiddelde kwadraten</i>	<i>F</i>	<i>Significantie F</i>				
	Regressie	1	0,307302239	0,307302239	129141970,1	0,00000000000150				
	Storing	3	7,13871E-09	2,37957E-09						
	Totaal	4	0,307302246							
	<i>Coëfficiënten</i>	<i>Standaardfout</i>	<i>T- statistische gegevens</i>	<i>P-waarde</i>	<i>Laagste 95%</i>	<i>Hoogste 95%</i>	<i>Laagste 95,0%</i>	<i>Hoogste 95,0%</i>		
Snijpunt	7,687957503	5,11618E-05	150267,6424	6,49942E-16	7,687794684	7,688120323	7,687794684	7,688120323		
X	0,175300382	1,54259E-05	11364,06486	1,50269E-12	0,17525129	0,175349474	0,17525129	0,175349474		

	t	Gemiddelde kost (K)	Voorspelde kost	Et	Et/Kt
MAPE	1	€ 2.600,00	€ 2.599,98	0,022980948	0%
	2	€ 3.098,00	€ 3.098,14	0,143273977	0%
	3	€ 3.692,00	€ 3.691,76	0,239774524	0%
	4	€ 4.399,00	€ 4.399,12	0,116618294	0%
	5	€ 5.242,00	€ 5.242,01		
	6		€ 6.246,40	MAPE	0,004%
	7		€ 7.443,23		
	8		€ 8.869,38		
	9		€ 10.568,79		
	10		€ 12.593,82		

BIJLAGE B

Verklaring op woord van eer

Ik verklaar dat ik deze aan de Faculteit BE ingediende masterproef zelfstandig en zonder hulp van andere dan de vermelde bronnen heb gemaakt.

Ik bevestig dat de direct en indirect overgenomen informatie, stellingen en figuren uit andere bronnen als zodanig aangegeven zijn in overeenstemming met de richtlijnen over plagiaat in de masterproefbrochure.

Ik bevestig dat dit werk origineel is, aan geen andere onderwijsinstelling werd aangeboden en nog niet werd gepubliceerd. Ik ben mij bewust van de implicaties van fraude zoals beschreven in artikel 15 van het onderwijs- en examenreglement van de Universiteit Antwerpen. (ww.uantwerpen.be/oer)

Datum: 21-05-2024

Naam: Anton Smidts

Handtekening: Anton Smidts