



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

### **Masterthesis**

#### ***Het gebruik van ondergronds goederentransport***

#### **Bojan Maesen**

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

#### **PROMOTOR :**

dr. Tabitha MAES



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

[www.uhasselt.be](http://www.uhasselt.be)

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

**2019**  
**2020**



# **Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen**

master in de handelswetenschappen

## ***Masterthesis***

### ***Het gebruik van ondergronds goederentransport***

#### **Bojan Maesen**

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

#### **PROMOTOR :**

dr. Tabitha MAES



Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.



## **Woord vooraf**

Dit onderzoek werd geschreven in functie van het behalen van mijn diploma Master in de Handelswetenschappen met afstudeerrichting Supply Chain Management.

Het onderwerp van dit onderzoek is het gebruik van ondergronds goederentransport. Dit onderwerp wekte mijn interesse omdat het creëren van extra vervoerscapaciteit volgens mij noodzakelijk is om de problemen omtrent congestie op te lossen. Daarnaast is het ook belangrijk dat een milieuvriendelijk alternatief gevonden wordt voor wegtransport. Het is vanuit deze noodzaak dat ik de concrete voordelen van ondergronds goederentransport heb onderzocht. Daarnaast heb ik ook onderzocht binnen welke toepassingsgebieden ondergronds goederentransport kan ingezet worden. Als sluitstuk van dit onderzoek werd onderzocht wat de haalbaarheid is van ondergronds goederentransport.

Ik zou graag enkele personen bedanken die hebben bijgedragen aan mijn onderzoek.

Allereerst wil ik graag mijn promotor dr. Tabitha Maes bedanken voor haar toegewijde begeleiding. Zowel haar kritisch en logistiek inzicht als haar opbouwende feedback vormden een ideale basis om dit onderzoek af te ronden.

Daarenboven wil ik de Universiteit Hasselt bedanken voor de mogelijkheid om dit onderzoek uit te voeren.

Tot slot wil ik graag mijn broer, grootmoeder en vriendin bedanken voor de steun die ze mij geboden hebben tijdens mijn opleiding Handelswetenschappen en bij het uitvoeren van dit onderzoek. Ook mijn medestudenten wil ik hierbij graag bedanken.

Ten slotte wil ik u als lezer veel plezier toewensen bij het lezen van mijn onderzoek.

Bojan Maesen  
Maasmechelen, juni 2020



## **Samenvatting**

De Vlaamse logistieke sector komt steeds meer onder druk te staan omwille van operationele en maatschappelijke uitdagingen. Zo neemt de filedruk in Vlaanderen steeds meer toe waardoor de kosten van transport stijgen en de efficiëntie van de sector daalt. Daarnaast krijgt de sector steeds vaker te maken met maatschappelijke druk op haar ecologische voetafdruk en de gevolgen voor het milieu. Omwille van de belangrijke rol die logistiek in Vlaanderen speelt, is het daarom noodzakelijk om onderzoek uit te voeren naar alternatieve vervoerswijzen die extra capaciteit bieden en daarnaast milieuvriendelijk zijn.

Het is vanuit dat opzicht dat deze masterthesis als doel heeft om de mogelijkheden van ondergronds goederentransport te onderzoeken. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: "Op welke manier kan ondergronds goederentransport een oplossing bieden voor de maatschappelijke en operationele uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector?".

Om een antwoord te kunnen bieden op de voorgaande onderzoeksvraag is een literatuurstudie uitgevoerd. Daarbij zijn allereerst de operationele en maatschappelijke uitdagingen in kaart gebracht. Daaruit is gebleken dat op operationeel vlak vooral het personeelstekort een grote uitdaging vormt. Daarnaast is congestie zowel een operationele als maatschappelijke uitdaging voor de logistieke sector. Zo leidt congestie enerzijds tot hogere kosten en heeft het anderzijds een negatieve impact op het milieu en de levenskwaliteit van automobilisten. Verder is verkeersonveiligheid een belangrijk neveneffect van wegtransport. Ondanks dat vrachtwagens minder ongevallen veroorzaken dan andere vervoersmiddelen, is de ernst bij ongevallen vaak veel groter. Tot slot is ook de luchtvervuiling een maatschappelijk probleem dat veroorzaakt wordt door de logistieke sector. Zo is een groot deel van de vervuilende stoffen het gevolg van vrachtverkeer. Die vervuilende stoffen zijn enerzijds slecht voor de gezondheid en wegen anderzijds op de ecosystemen.

Vervolgens zijn verschillende toepassingen van ondergronds transport in kaart gebracht gaande van ondergrondse spoorwegsystemen over ondergrondse (snel)wegen tot Ongehinderde Logistieke Systemen. Op basis van deze toepassingen zijn de haalbaarheid van ondergrondse stedelijke distributie en haventoeepassingen onderzocht in Vlaanderen. Daaruit is gebleken dat deze toepassingen mogelijkheden bieden maar dat technologische, politieke en planologische uitdagingen de implementatie in de weg staan. Daarnaast is ook de hoge kostprijs vaak een struikelblok.

Tot slot heeft dit onderzoek zich ook gericht op een andere alternatieve vervoerswijze dan ondergronds transport. Zo geniet het concept Hyperloop de laatste jaren veel aandacht en kan het mogelijk een goed alternatief zijn voor ondergronds transport. Zo kan het transportmiddel in een ideaal scenario snelheden halen tot 1.200 kilometer per uur en zijn de bouw- en onderhoudskosten minder duur. Toch moeten nog heel wat technische uitdagingen overwonnen worden en lijkt een realisatie ten vroegste mogelijk in 2033. Het concept bevindt zich momenteel dan ook voornamelijk in de testfase.





## **Inhoudsopgave**

<b>Woord vooraf</b> .....	<b>I</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>III</b>
<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>V</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>VII</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>IX</b>
<b>1.           Onderzoeksplan</b> .....	<b>1</b>
1.1      Probleemstelling .....	1
1.2      Onderzoeksvragen .....	3
1.2.1   Centrale onderzoeksvraag .....	3
1.2.2   Deelvragen.....	4
1.3      Onderzoeksaanpak.....	5
1.3.1   Zoektermen en trefwoorden .....	5
1.3.1.1   Ondergronds goederentransport.....	5
1.3.1.2   Congestieproblemen .....	5
1.3.1.3   Milieuvervuiling.....	6
1.3.1.4   Globalisering .....	6
1.3.1.5   E-commerce .....	6
1.3.1.6   Verkeersveiligheid .....	7
1.3.1.7   Hyperloops.....	7
<b>2.           De maatschappelijke en operationele uitdagingen van de logistieke sector in Vlaanderen</b> .....	<b>9</b>
2.1      De operationele uitdagingen van de logistieke sector .....	9
2.1.1   Personeelstekort .....	9
2.1.1.1   Sociaaleconomische factoren .....	10
2.1.1.2   Demografische factoren .....	10
2.1.1.3   Aantrekkelijkheid van het werk .....	10
2.1.1.4   Kwalificaties: vaardigheden en opleiding .....	12
2.1.1.5   Europese regelgeving .....	12
2.2      De maatschappelijke uitdagingen .....	13
2.2.1   Verkeersonveiligheid.....	13
2.2.1.1   Letselongevallen met vrachtwagens.....	13

2.2.1.2	Gewonden bij vrachtwagenongevallen .....	14
2.2.1.3	Risicoanalyse vrachtvervoer .....	15
2.2.2	Milieueffecten .....	17
2.2.3	Congestie .....	18
<b>3.</b>	<b>Toepassingen van ondergronds transport .....</b>	<b>19</b>
3.1	Ondergrondse spoorwegsystemen .....	19
3.2	Ondergrondse (snel)wegen.....	20
3.3	Ongehinderde Logistieke Systemen (OLS) .....	21
3.3.1	De werking van Ongehinderde Logistieke Systemen .....	21
3.3.2	De relevantie van Ongehinderde Logistieke Systemen.....	22
3.3.3	De voordelen van een Ongehinderde Logistiek Systeem .....	22
3.3.4	Specifieke toepassingen van Ongehinderde Logistieke Systemen.....	23
3.3.4.1	Cargocaps .....	23
3.3.4.2	OLS Tulpenlijn Schiphol-Aalsmeer .....	24
3.3.4.3	Underground Container Mover (UCM).....	25
3.3.4.4	Buisleiding Transport (BLT) .....	26
<b>4.</b>	<b>Mogelijkheden van ondergronds goederentransport in Vlaanderen ...</b>	<b>29</b>
4.1	Ondergrondse stedelijke distributie.....	29
4.2	Haventoepassingen .....	31
4.3	Haalbaarheidsanalyse .....	33
<b>5.</b>	<b>Hyperloops als alternatief voor ondergronds goederentransport .....</b>	<b>35</b>
5.1	Het concept hyperloop .....	35
5.1.1	Technische werking van hyperloops.....	36
5.2	De voordelen van hyperloops in functie van logistieke uitdagingen .....	37
5.3	De uitdagingen voor hyperloops.....	37
5.4	Hyperloops in vergelijking tot andere transportmodi .....	39
5.5	De realisatie van hyperloops.....	41
5.5.1	Testfase .....	42
5.5.2	Voorstellen van mogelijke hyperloop netwerken wereldwijd .....	42
	<b>Conclusie .....</b>	<b>45</b>
	<b>Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek.....</b>	<b>47</b>
	<b>Literatuurlijst.....</b>	<b>49</b>

## **Lijst van figuren**

<b>Figuur 1</b> De arbeidstevredenheid van vrachtwagenchauffeurs (IRU, 2019a). .....	11
<b>Figuur 2</b> Vrachtwagenchauffeurs die de lange periodes van huis aanduiden als cruciale reden voor het personeelstekort (IRU, 2019a). .....	12
<b>Figuur 3</b> Evolutie aantal letselonegevallen met minstens één vrachtwagen in België (Temmermans, Sloomans, & Lequeux, 2016). .....	14
<b>Figuur 4</b> Evolutie aantal gewonden in ongevallen met vrachtwagens in België (Temmerman, Sloomans, & Lequeux, 2016). .....	14
<b>Figuur 5</b> Evolutie aantal doden ter plaatse in ongevallen met vrachtwagens in België (Temmermans, Sloomans, & Lequeux, 2016). .....	15
<b>Figuur 6</b> Evolutie van het aantal ongevallen met vrachtwagens in België (Temmermans, Sloomans, & Lequeux, 2016). .....	16
<b>Figuur 7</b> Concepttekening CargoCaps (CargoCap GmbH, 2017). .....	23
<b>Figuur 8</b> Automatisch laden en lossen van CargoCaps (CargoCap GmbH, 2017). .....	24
<b>Figuur 9</b> Automatisch laden en lossen van CargoCaps (CargoCap, GmbH, 2017). .....	24
<b>Figuur 10</b> Stadsdistributie via centraal distributiecentrum buiten de stadskern (Instituut Samenleving & Technologie, 2012). .....	30
<b>Figuur 11</b> Concepttekening Underground Container Mover (Denys, 2020). .....	31
<b>Figuur 12</b> Concepttekening Underground Container Mover (Denys, 2020). .....	31
<b>Figuur 13</b> Havenontsluiting via instappunten in het hinterland (Instituut Samenleving & Technologie, 2012). .....	32
<b>Figuur 14</b> Verbinding van havens via corridors (Instituut Samenleving & Technologie, 2012). .....	33
<b>Figuur 15</b> Concepttekening Hyperloop (Jak, 2019). .....	36
<b>Figuur 16</b> Transport van een zeecontainer door middel van een hyperloop (Van Dooren, 2018). .....	36
<b>Figuur 17</b> Beperkte flexibiliteit bij hyperloopverbindingen (Doppelbauer, 2018). .....	38



## **Lijst van tabellen**

<b>Tabel 1</b> Reistijd en capaciteit (aantal passagiers per uur) voor een traject van punt A naar punt B over een afstand van vijftig kilometer (bijvoorbeeld luchthaven X – luchthaven Y) voor verschillende vervoersmiddelen (Doppelbauer, 2018). .....	40
<b>Tabel 2</b> Intercity verbinding over een afstand van vijfhonderd kilometer (bijvoorbeeld Amsterdam – Parijs) voor verschillende vervoersmiddelen (Doppelbauer, 2018). .....	41
<b>Tabel 3</b> Voorstellen van Hyperloop netwerken die wereldwijd steden en regio's met elkaar verbinden (Hyperloop One, 2019). .....	43



## **Onderzoeksplan**

Het onderzoeksplan van deze masterproef licht de methodiek en de opbouw van het onderzoek toe. Allereerst wordt de probleemstelling beschreven. De bedoeling is om de lezer een duidelijk overzicht te geven van de reden van dit onderzoek. Vervolgens worden de onderzoeksvragen weergegeven samen met een toelichting van wat deze onderzoeksvragen precies zullen onderzoeken. Eerst wordt de centrale onderzoeksvraag geformuleerd, vervolgens wordt een overzicht gegeven van de deelvragen. Tot slot wordt ook de onderzoeksaanpak uitgelegd op basis van de gebruikte zoektermen en trefwoorden.

### ***1.1 Probleemstelling***

In deze masterproef worden de mogelijkheden van het gebruik van ondergronds goederentransport onderzocht binnen de logistieke sector. Ondanks een groot potentieel, stoot de logistieke sector hedendaags steeds meer op de beperkingen van de huidige manier van werken. Zowel op vlak van infrastructuur als op vlak van duurzaamheid staat de sector voor grote uitdagingen. Aangezien de logistieke sector een grote impact heeft op de Belgische economie, is het noodzakelijk dat zowel op korte als op lange termijn manieren gevonden worden om met deze uitdagingen om te gaan.

In Europa is een duidelijke concentratie te zien van logistieke activiteiten in het noorden van België, het zuiden van Nederland en het Duitse Ruhrgebied (Vanoutrive & Verhetsel, 2013). Het is duidelijk dat de ligging van België binnen Europa ervoor zorgt dat de logistieke sector van groot belang is voor het land, en in het bijzonder voor Vlaanderen. Zo vestigen veel bedrijven hun logistieke distributiecentra in België. Vanuit deze distributiecentra worden producten dan verdeeld naar andere werelddelen. Door een hoge concentratie aan logistieke ondernemingen waren in 2017 bijna 117.000 mensen actief in de Vlaamse logistieke sector. Hierdoor was de sector in dat jaar verantwoordelijk voor 4,2 procent van het totaal aantal werkenden in Vlaanderen (Statistiek Vlaanderen, 2019).

Om de verdeling van producten mogelijk te maken, zijn logistieke dienstverleners afhankelijk van de transportsector. Zowel bij unimodaal transport (vervoerswijze waarbij één transportmodus gebruikt wordt) als intermodaal transport (vervoerswijze waarbij meerdere transportmodi gecombineerd worden) wordt de afstand gedeeltelijk of volledig over de weg afgelegd. De transportsector stoot echter steeds meer op de beperkingen van de infrastructuur op de Belgische snel- en gewestwegen. Sinds 2012 is het gemiddeld aantal kilometeruren file per werkdag in Vlaanderen gestegen met meer dan 200 kilometeruren of ruim 35 procent. Deze stijging leidde in het Vlaamse gewest in augustus 2019 tot een jaargemiddelde van 754 kilometeruren file per werkdag. De maatstaf kilometeruren file wordt gebruikt om de gemiddelde omvang van de files weer te geven en bestaat uit een combinatie van de lengte en de duurtijd van de files (Statistiek Vlaanderen, 2019). Het is dan ook duidelijk dat de filezwaarte stevig is toegenomen de afgelopen jaren. Deze congestieproblemen leiden tot een stijging van de kosten van transportbedrijven en brengen de efficiëntie van de logistieke sector in het gedrang (van Ham & Macharis, 2005).



Daarom moet de logistieke sector samen met de overheid op zoek gaan naar maatregelen om de filedruk te doen afnemen. Waar men vroeger vaak gebruikmaakte van unimodaal transport en enkel over de weg transporteerde, wordt nu steeds meer ingezet op intermodaal transport. Dit met de doelstelling om stadskernen en drukke gebieden te ontlasten. Zo wordt gebruikgemaakt van vervoer via boot en trein om de verbinding naar het hinterland te faciliteren. Door middel van gestandaardiseerde laadeenheden is het de bedoeling om transportketens in elkaar te integreren en op die manier het aantal transporten via de weg te reduceren. Dit met de intentie om de wachttijden te verminderen en zo de operationele kosten te verlagen (van Ham & Macharis, 2005).

De transportsector moet echter niet alleen een antwoord bieden op de operationele problemen die de congestie met zich meebrengt. Ook heel wat maatschappelijke uitdagingen vereisen de aandacht van de transportsector en de logistieke sector in het algemeen. Zowel de operationele als de maatschappelijke problemen zijn in grote mate te wijten aan de groei van e-commerce (Visser, Nemoto, & Browne, 2014), de globalisering van productieketens (van Veen-Groot & Nijkamp, 1999) en de hoge concentratie aan inwoners in stedelijke gebieden (Browne, Allen, Nemoto, Patier, & Visser, 2012).

Allereest heeft e-commerce gezorgd voor een toename van het aantal transporten, waardoor een booming effect werd veroorzaakt in de logistieke sector. Steeds vaker worden producten online besteld. Consumenten willen hun producten daarnaast ook steeds sneller ontvangen. Next-day delivery is tegenwoordig eerder de regel dan de uitzondering geworden. Op die manier oefenen consumenten steeds meer druk uit op de logistieke dienstverleners. Dat resulteert in steeds kleinere en frequentere leveringen, met een stijging van het totaal aantal transporten tot gevolg. Deze stijging heeft bijgevolg een negatieve impact op het milieu en de congestieproblemen (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Daarnaast heeft de globalisering van productieketens ervoor gezorgd dat producten een steeds langere weg afleggen van productie naar retail. Zo worden de verschillende fases van het bedrijfsproces ondergebracht in specifieke regio's. De productie gebeurt bijvoorbeeld steeds vaker in lageloonlanden zoals China en India. Door de lage lonen en de beperkte controle op arbeidsomstandigheden kan in deze regio's veel goedkoper geproduceerd worden dan in West-Europa of de Verenigde Staten (K. Pattyn, persoonlijke communicatie, november 2019). Zoals eerder vermeld, kunnen Belgische ondernemingen op hun beurt dan weer profiteren van hun strategische ligging. Daardoor situeren ondernemingen hun logistieke activiteiten in Vlaanderen. België bevindt zich namelijk centraal in de Blauwe Banaan, een dichtbevolkt gebied gaande van Londen tot Milaan, wat ervoor zorgt dat de regio geschikt is voor logistieke dienstverlening (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Alhoewel de globalisering van productieketens voor ondernemingen een grote troef kan zijn, zet het de logistieke sector op ecologisch vlak sterk onder druk. De producten leggen onnodige kilometers af met vervuilende schepen en vrachtwagens, en hebben zo een negatieve impact op het milieu (Moreels, 2014).

De onnodige kilometers die afgelegd worden, moeten daarnaast ook gebeuren tegen een zo laag mogelijke kost. Wanneer de transportkosten zouden stijgen, zou het namelijk niet meer voordelig zijn om de productie te verhuizen naar het buitenland. Door de transportkosten lager te houden dan het kostenvoordeel van de buitenlandse productie, blijft offshoring naar lageloonlanden interessant voor ondernemingen. Hierdoor komt de transportsector wel steeds zwaarder onder druk te staan, wat bijgevolg een impact heeft op de werkwijze in de sector. Waar vroeger de nadruk lag op kwaliteit en dienstverlening, wordt tegenwoordig steeds meer de focus gelegd op de kostprijs. Op die manier is een echte prijzenoorlog ontstaan. Om de kosten te drukken worden daarom steeds meer arbeiders uit lageloonlanden zoals Polen en Bulgarije ingezet (Moreels, 2014).

Tot slot is ook de verstedelijking een uitdaging voor de logistieke sector. Doordat een groot aantal personen werken en wonen in de steden ontstaat namelijk veel congestie in deze gebieden. Hierdoor komen vracht- en bestelwagens steeds vaker in files terecht wat leidt tot langere wachttijden en hogere kosten. Daarnaast worden ook steeds meer vervuilende stoffen geproduceerd omdat de doorlooptijd doorheen de jaren sterk is toegenomen (Pascal et al., 2013).

Om al deze uitdagingen het hoofd te kunnen bieden, kan een aanvullende transportmodus zoals een ondergronds goederenvervoersysteem mogelijks een oplossing zijn. Op die manier wordt een extra dimensie toegevoegd aan goederentransport. Zo kunnen goederen niet alleen over de weg, via het water en door de lucht maar ook onder de grond vervoerd worden. Daarnaast kan ondergronds goederentransport ook een vervanging zijn voor vervuilende transportmodi, op voorwaarde dat een ecologisch systeem ontwikkeld kan worden. Daarom zal in deze masterproef onderzoek gedaan worden naar de mogelijkheden van ondergronds goederentransport.

## **1.2 Onderzoeksvragen**

In deze sectie wordt een overzicht gegeven van de onderzoeksvragen die de basis vormen van dit onderzoek. Daarbij wordt eerst de centrale onderzoeksvraag uitgelegd. Vervolgens volgt een toelichting van deelvragen. Deze vragen werden gehanteerd om een gefundeerd antwoord te kunnen formuleren op de centrale onderzoeksvraag.

### **1.2.1 Centrale onderzoeksvraag**

De basis van deze masterproef zal zich focussen op de uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector. Aan de hand van onderstaande centrale onderzoeksvraag zal daarom onderzocht worden op welke manier ondergronds goederentransport de logistieke sector kan ondersteunen. De centrale onderzoeksvraag luidt:

**“Op welke manier kan ondergronds goederentransport een oplossing bieden voor de maatschappelijke en operationele uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector?”**

Omwille van het economische belang van de Vlaamse logistieke sector is het van belang dat onderzoek gedaan wordt naar mogelijkheden om de sector te ondersteunen. De sector zorgt binnen Vlaanderen namelijk voor veel tewerkstelling en is daarnaast ook een uithangbord van de regio. Zoals eerder werd vermeld, ondergaat de sector een booming effect ten gevolge van e-commerce. Alhoewel de toenemende vraag een positief gegeven is, mag de toenemende druk niet leiden tot operationele en maatschappelijke problemen. Het is daarom belangrijk dat naar oplossingen wordt gezocht. Uitdagingen kunnen echter ook een positief gegeven zijn. In vele gevallen zijn uitdagingen namelijk de grondslag van innovatie, verandering en verbeteringen (Vaas & Oeij, 2011). In deze masterproef wordt daarom onderzocht hoe ondergronds goederentransport uitdagingen kan omvormen tot opportuniteiten.

### **1.2.2 Deelvragen**

Zoals eerder werd vermeld, staat de logistieke sector voor verschillende uitdagingen. Daarbij kan een duidelijk verschil worden gemaakt tussen enerzijds de maatschappelijke uitdagingen en anderzijds de operationele uitdagingen. Daarnaast moet ook duidelijk omschreven worden hoe groot de verschillende uitdagingen zijn en wat ze concreet inhouden.

De eerste deelvraag van deze masterproef zal zich daarom richten op het concreet onderzoeken van de problemen en uitdagingen van de logistieke sector. Dit zal gebeuren aan de hand van volgende deelvraag:

**“Welke maatschappelijke en operationele uitdagingen bieden zich momenteel aan binnen de Vlaamse logistieke sector?”**

Na het afbakenen van de verschillende uitdagingen, zal de masterproef zich richten op het onderzoeken van de reeds bestaande toepassingen van ondergronds (goederen)transport. De deelvraag die de basis vormt voor dit onderdeel luidt:

**“Welke bestaande toepassingen van ondergronds (goederen)transport zijn relevant voor de logistieke sector in Vlaanderen?”**

De bovenstaande deelvraag dient vooral om een overzicht te maken van reeds bestaande vormen van ondergronds goederentransport en ander ondergronds transport die eventueel uitgebreid kunnen worden naar de logistieke sector in Vlaanderen.

Tot slot zal deze masterproef zich richten op een andere vervoersmodus die momenteel meer aandacht geniet dan ondergronds goederentransport. In dit laatste deel van de masterproef wordt namelijk onderzocht hoe hyperloops, die aanzien worden als de transportmodus van de toekomst, een alternatief kunnen bieden voor ondergronds goederentransport. Dit zal onderzocht worden aan de hand van volgende deelvraag:

**“Op welke manier kunnen hyperloops een alternatief zijn voor ondergronds goederentransport?”**

Hyperloops krijgen steeds meer aandacht, terwijl ondergronds goederentransport meer en meer op de achtergrond lijkt te verdwijnen. De vraag is dan ook of ondergronds goederentransport ten dode is opgeschreven alvorens effectief operationeel toegepast te worden.

Hyperloops lijken in eerste instantie veel eigenschappen te delen met ondergronds goederentransport. Zo kunnen via hyperloops ook stukgoederen op ongehinderde wijze getransporteerd worden. Daarnaast moeten geen ondergrondse constructies gemaakt worden, waardoor deze vervoersmethode misschien eenvoudiger implementeerbaar is dan ondergrondse logistieke systemen. Daarom wordt onderzocht op welke manier hyperloops een alternatief kunnen zijn voor ondergronds goederentransport.

### **1.3 Onderzoeksaanpak**

Deze masterproef onderzoekt het gebruik van ondergronds goederentransport aan de hand van een literatuurstudie. Deze studie zal gebaseerd worden op basis van kennis en theorieën uit wetenschappelijke artikels. Voor het zoeken naar deze artikels wordt gebruikgemaakt van de volgende databanken: bibliotheek Universiteit Hasselt en Google Scholar. Het opzoeken van relevante artikels zal gebeuren aan de hand van enkele zoektermen en trefwoorden die hieronder verder toegelicht worden. De zoektermen die gebruikt worden zijn: ondergronds goederentransport, congestieproblemen, milieuvervuiling, globalisering, e-commerce en hyperloops. Om het zoekbereik te vergroten worden deze termen ook allemaal vertaald naar het Engels om kennis uit Engelstalige literatuur te combineren met regiospecifieke literatuur. Naast het gebruik van wetenschappelijke artikels is deze masterproef ook gebaseerd op informatie uit vakliteratuur.

#### **1.3.1 Zoektermen en trefwoorden**

Deze sectie geeft een omschrijving van de verschillende zoektermen en trefwoorden die gebruikt werden om de literatuurstudie uit te voeren.

##### **1.3.1.1 Ondergronds goederentransport**

Deze zoekterm is natuurlijk zeer belangrijk voor de masterproef omdat het hele onderzoek draait rond ondergronds goederentransport. Ondergronds goederentransport kan op verschillende manieren uitgevoerd worden. Zo kan het gebaseerd worden op reeds bestaande ondergrondse vervoerssystemen. Zo is de metro een goed voorbeeld van een ondergronds transportsysteem dat gebruikt wordt voor personenvervoer, maar ook uitgebreid kan worden naar goederenvervoer. Zo kunnen de personenwagons vervangen worden door goederenwagons en trailers waar zelfs volledige containers op geladen kunnen worden. Echter bestaan ook andere, innovatieve manieren om ondergronds goederentransport te organiseren.

##### **1.3.1.2 Congestieproblemen**

Congestie is één van de grootste stoorzenders voor transportbedrijven. Door lange, onverwachte files worden dagelijks ritten en planningen in de war gebracht. Het

congestieprobleem wordt, zoals uitgelegd in de probleemstelling, steeds groter in Vlaanderen. Transportbedrijven verliezen veel geld door de aanhoudende files en stoten een grote hoeveelheid aan broeikasgassen uit. Het Instituut Wegtransport en Logistiek België (ITLB) voerde in 2014 een studie uit die berekende dat elk verloren uur in de file gemiddeld 78 euro kost per vrachtwagen. Daarnaast tonen berekeningen dat de gemiddelde automobilist maar liefst 44 uur per jaar verliest door files (Het Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Een snelle berekening leert dat de kosten voor transportbedrijven op jaarbasis dus hoog kunnen oplopen. Wanneer het vrachtverkeer dus van de wegen kan gefilterd worden door gebruik te maken van ondergrondse vervoerssystemen, kunnen de kosten die congestieproblemen met zich meebrengen verlaagd worden. Daarnaast kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot in drukke gebieden gereduceerd worden.

#### **1.3.1.3 Milieuvervuiling**

Zoals reeds werd uitgelegd in sectie 1.3.1.2 leiden congestieproblemen tot meer broeikasgassen en een verhoogde CO<sub>2</sub>-uitstoot in drukke gebieden. Daarnaast leidt de globalisering van de productieketens tot meer milieuvervuiling. Door het gebruik van ondergronds goederentransport is het eventueel mogelijk om deze negatieve tendens af te remmen. Zo zou gebruikgemaakt kunnen worden van groene energie of speciale ventilatiesystemen die de broeikasgassen uit de lucht filteren. Die mogelijkheden zullen aan de hand van deze zoekterm verder onderzocht worden in de masterproef.

#### **1.3.1.4 Globalisering**

In de probleemstelling werd uitgelegd dat de globalisering van productieketens heeft geleid tot kostenvoordelen voor ondernemingen. Door de lage productiekosten in lageloonlanden en de lage transportkosten is het voor bedrijven steeds aantrekkelijker geworden de productie uit te besteden naar het buitenland. Terwijl de productie hoofdzakelijk gebeurt in die lageloonlanden, gebeuren de logistieke processen steeds vaker gecentraliseerd in landen met een strategische ligging, zoals België. Steeds meer ondernemingen maken op die manier gebruik van hub-and-spoke netwerken. Zo komen alle goederen op een centrale plaats samen, waarna ze van daaruit verder gedistribueerd worden. Het is echter in die gebieden, waaronder België, dat het aantal transporten steeds hoger oploopt en de infrastructuur extra belast wordt. De globalisering is dus één van de oorzaken van de huidige problematiek in de logistieke sector en vormt dan ook een belangrijke zoekterm binnen deze masterproef (A. Caris, persoonlijke communicatie, februari 2019; K. Pattyn, persoonlijke communicatie, oktober 2019).

#### **1.3.1.5 E-commerce**

Naast globalisering is ook e-commerce een belangrijke reden van het toenemende aantal transporten en de grote druk binnen de logistieke sector (K. Pattyn, persoonlijke communicatie, oktober 2019). Wanneer we deze problematiek willen aanpakken, is het noodzakelijk dat ondergrondse transportsystemen een antwoord kunnen bieden op de uitdagingen die verbonden zijn aan e-commerce.

### **1.3.1.6 Verkeersveiligheid**

Om de actuele uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector in kaart te brengen, is verkeersveiligheid een belangrijke zoekterm. Doorheen de jaren is de mogelijkheid tot verplaatsing een noodzaak geworden om volmaakt deel uit te kunnen maken van het economisch en sociaal leven. Om vlotte verplaatsingen uit te kunnen voeren, gebruikt de gemiddelde Vlaming dan ook meestal de auto. Op die manier is het aantal afgelegde kilometers de laatste decennia sterk toegenomen. Zo is in de periode tussen 1970 en 2007 het aantal afgelegde voertuigkilometers met 234 procent gestegen. Het openbaar vervoer is daarentegen veel minder sterk toegenomen (Vanderleyden, Callens, & Noppe, 2009).

Uit de literatuur valt duidelijk op te merken dat het personenvervoer sterk gestegen is de laatste jaren. Maar ook het vrachtvervoer gebeurt tot op heden nog steeds hoofdzakelijk via de weg. In Europa wordt bijna de helft van de goederen over de weg getransporteerd, terwijl in Vlaanderen zowaar tachtig procent van het goederentransport via de weg verloopt. Het Federaal Planbureau voorspelt dat wanneer het beleid niet over een andere boeg gegooid wordt, het wegvervoer, zowel voor personen als voor goederen, tegen 2030 met 20 procent zal stijgen ten opzichte van 2008. Ondanks dat een verschuiving zal plaatsvinden van traditioneel wegvervoer naar spoor en binnenvaart zal het wegtransport nog steeds dominant zijn in 2030. Zo wordt voorspeld dat 71 procent van het goederentransport tegen die tijd via de weg zal verlopen (Gérard, Struyf, Sys, Van de Voorde, & Vanelslander, 2015).

Bovenstaande vooruitzichten geven aan dat zowel het goederentransport als het personenvervoer de komende jaren zal stijgen op de weg. Op die manier zal het weggennet steeds meer verzadigd geraken wat gevolgen heeft voor de verkeersveiligheid. Het is dan ook duidelijk dat het een uitdaging is voor de Vlaamse logistieke sector om hierop te anticiperen.

### **1.3.1.7 Hyperloops**

In 2013 introduceerde ondernemer Elon Musk het concept van de Hyperloop aan het publiek. Zijn concept wordt aanzien als de vijfde vervoersmodaliteit naast vervoer via weg, trein, schip en vliegtuig. Het concept van de Hyperloop omvat vacuümbuizen waarin capsules of zogenaamde pods getransporteerd kunnen worden. Zo zou de Hyperloop passagiers en vracht met een maximumsnelheid van 1.200 kilometer per uur kunnen transporteren. De toekomst zal moeten uitwijzen of hyperloops een alternatief transportmiddel kunnen zijn voor het transporteren van mensen en goederen om zo het vrachtverkeer en de bijhorende congestieproblemen en milieuhinder te reduceren. Omwille van de veiligheid van het concept en de technologische uitdagingen die nog overwonnen moeten worden, wordt het concept in twijfel getrokken. Indien testprojecten in de toekomst erin slagen om de veiligheid van het systeem te garanderen en het concept volledig operationeel te krijgen, bestaat de kans dat binnen twintig jaar een afstand van 500 kilometer in een tijdsspanne van 30 minuten afgelegd kan worden met de Hyperloop (Doppelbauer, 2018).



## **De maatschappelijke en operationele uitdagingen van de logistieke sector in Vlaanderen**

Om een antwoord te bieden op de centrale onderzoeksvraag, onderzoekt deze masterproef hoe ondergronds goederentransport een oplossing kan zijn voor de uitdagingen waar de logistieke sector in Vlaanderen momenteel voor staat. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de maatschappelijke problemen en anderzijds de operationele problemen.

In dit hoofdstuk wordt een antwoord geformuleerd op de eerste deelvraag: "Welke maatschappelijke en operationele uitdagingen bieden zich momenteel aan binnen de logistieke sector in Vlaanderen?". Aan de hand van een overzicht wordt duidelijk welke uitdagingen hedendaags actueel zijn in de Vlaamse logistieke sector.

Eerst worden in sectie 2.1 de uitdagingen vanuit operationeel oogpunt besproken. Vervolgens worden in sectie 2.2 de uitdagingen bekeken op maatschappelijk vlak.

### ***2.1 De operationele uitdagingen van de logistieke sector***

Op operationeel vlak is het personeelstekort in de logistieke sector een grote uitdaging. Vooral voor het transport van wegvervoer heerst een groot tekort aan personeel. Zo is het beroep van vrachtwagenchauffeur de laatste jaren geëvolueerd tot een pijnpuntberoep (Lodovici et al., (2009). In deze sectie zal daarom onderzoek gedaan worden naar de achterliggende redenen van dit probleem. Naast personeelstekort is ook congestie een operationele uitdaging omdat files leiden tot onzekerheid en verhoogde kosten (Verbond van Belgische ondernemingen, 2017). Omdat die uitdaging naast operationeel ook grotendeels maatschappelijk een probleem vormt, wordt congestie in sectie 2.2 behandeld bij de bespreking van de maatschappelijke uitdagingen.

#### **2.1.1 Personeelstekort**

Volgens onderzoek van Lodovici et al. (2009) kampt de Europese industrie voor zwaar vrachtvervoer de afgelopen jaren met een ernstig structureel tekort aan beroepschauffeurs. Dit tekort valt zowel te wijten aan factoren die een invloed hebben op de vraag- als op de aanbodzijde.

De belangrijkste oorzaken van het tekort kunnen in vijf categorieën worden gegroepeerd:

1. Sociaaleconomische factoren
2. Demografische factoren
3. Aantrekkelijkheid van het werk
4. Kwalificaties: vaardigheden en opleiding
5. Europese regelgeving

In de volgende secties worden deze vijf categorieën concreet besproken



### **2.1.1.1 Sociaaleconomische factoren**

Omwille van de wereldwijde economische groei en de uitbreiding van de Europese Unie is de vraag naar vervoer over de weg toegenomen. Door deze toename stijgt natuurlijk ook de vraag naar chauffeurs. Deze toename in de vraag heeft mee bijgedragen aan het personeelstekort waar de sector momenteel mee kampt (Lodovici et al., 2009).

### **2.1.1.2 Demografische factoren**

Het personeelstekort in de logistieke sector valt ook te wijten aan de vergrijzende en bijgevolg krimpende chauffeursbevolking. Het beroep van vrachtwagenchauffeur is tegenwoordig veel minder populair dan vroeger. De meeste vrachtwagenchauffeurs zijn dan ook al wat ouder en wanneer zij op pensioen gaan is het moeilijk om hen te vervangen (Lodovici et al., 2009). Volgens een studie van de World Road Transport Organisation (IRU) is de gemiddelde leeftijd van een beroepschauffeur in Europa vijftig jaar. De komende jaren wordt verwacht dat deze tendens alleen nog maar zal toenemen (IRU, 2019a; IRU, 2019b; Lodovici et al., 2009).

Daarnaast is ook de genderkloof enorm groot bij vrachtwagenchauffeurs. Zo bestaat de populatie voor maar liefst 98 procent uit mannelijke chauffeurs. Dit wil bijgevolg zeggen dat slecht twee op de honderd vrachtwagenchauffeurs vrouwen zijn. Vrouwen geven een gebrek aan veiligheid aan als de voornaamste reden om geen vrachtwagenchauffeur te worden. Door middel van het verbeteren van de veiligheid en de uitrusting van rustzones (parkings) zouden daarom heel wat (vrouwelijke) chauffeurs aangetrokken kunnen worden. Zowel de mannelijke als de vrouwelijke vrachtwagenchauffeurs zijn ervan overtuigd dat de genderkloof negatief is voor de sector. Zij geloven dat wanneer het evenwicht tussen mannen en vrouwen zou bijgesteld worden dit een positieve bijdrage zal leveren aan het imago van de sector. Volgens hen zou het bijgevolg dan ook kunnen bijdragen aan de reductie van het personeelstekort (IRU, 2019a; IRU, 2019b).

### **2.1.1.3 Aantrekkelijkheid van het werk**

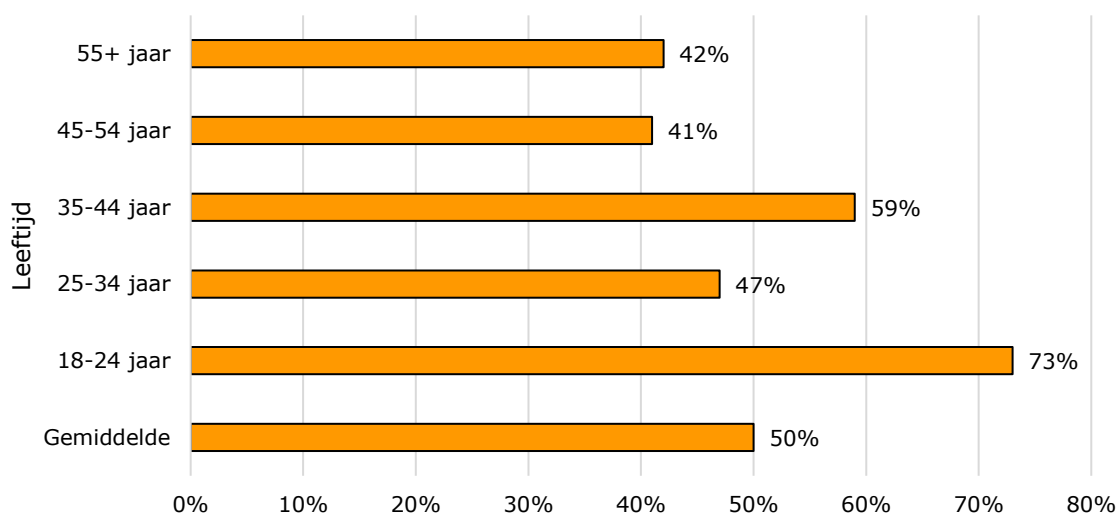
Zoals toegelicht in de vorige sectie vinden veel mensen het niet aantrekkelijk om aan de slag te gaan als vrachtwagenchauffeur. Uit onderzoek van Lodovici et al. (2009) geraken vooral de vacatures voor lange afstanden moeilijk ingevuld. Dit valt voornamelijk te wijten aan volgende omgevings- en sociale omstandigheden:

- Een negatieve perceptie over het beroep
- Gezondheids- en veiligheidskwesties
- Negatieve impact op het privéleven
- Relatief lage lonen
- Slechte carrièrevooruitzichten

Eerst en vooral heeft de sector te kampen met een imagoprobleem. De publieke opvatting over wegvervoer en bijgevolg het beroep van vrachtwagenchauffeur is over het algemeen negatief. Uit een onderzoek van de Franse Federatie van het Wegvervoer bleek in 2012 dat

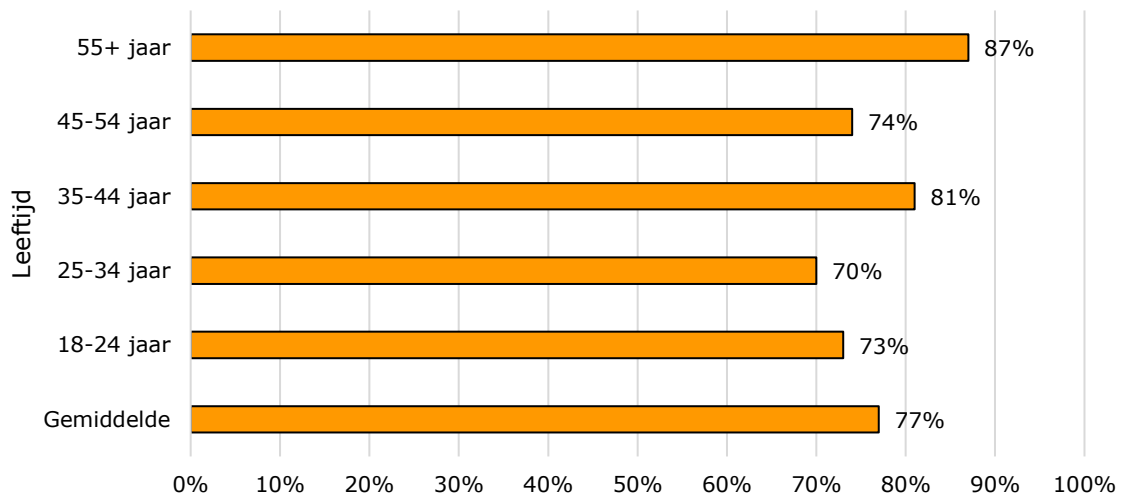
bijna de helft, namelijk 44 procent, van de ondervraagden een negatief standpunt innam over de branche. Desondanks waren zowat alle respondenten, namelijk 98 procent, het erover eens dat de sector een belangrijke economische bijdrage levert. Het aanhoudende tekort aan vrachtwagenchauffeurs leidt ertoe dat de sector zich in een vicieuze cirkel bevindt. Doordat zo veel vacatures blijven openstaan, wordt de algemene perceptie gevoed dat het beroep niet aangenaam is. Dat is echter niet het geval aangezien uit onderzoek blijkt dat chauffeurs doorheen Europa over het algemeen tevreden zijn over hun werk. Zo is 50 procent “tevreden” of “zeer tevreden” over hun job en is maar 20 procent ontevreden (IRU, 2019b).

De perceptie is echter niet bij alle vrachtwagenbestuurders hetzelfde. Zo heeft de leeftijd duidelijk een impact op de arbeidsvoldoening. Vrachtwagenchauffeurs met een jonge leeftijd blijken aanzienlijk meer tevreden over hun functie dan hun collega’s die ouder zijn dan 45 jaar (IRU, 2019a).



*Figuur 1 De arbeidstevredenheid van vrachtwagenchauffeurs (IRU, 2019a).*

Vrachtwagenbestuurders komen dagelijks voor heel wat uitdagingen te staan. Zo zijn de werkomstandigheden niet altijd optimaal en zijn vrachtwagenchauffeurs vaak voor lange periodes van huis. Dit wordt dan ook gezien als de één van de grootste redenen waarom mensen niet kiezen voor het beroep van vrachtwagenchauffeur. Volgens een studie van het IRU (2019a) geeft 87 procent van de vrachtwagenchauffeurs boven de 55 jaar en 73 procent van de vrachtwagenchauffeurs jonger dan 25 jaar aan dat de lange periodes van huis een cruciale reden zijn voor het gebrek aan beroepschauffeurs. Daarnaast zeiden de bevroagden dat de werkomstandigheden verbeterd zouden kunnen worden door enerzijds veiligere parkeerplaatsen met verbeterde uitrusting aan te bieden en anderzijds door flexibelere werktijden (IRU, 2019a).



*Figuur 2 Vrachtwagenchauffeurs die de lange periodes van huis aanduiden als cruciale reden voor het personeelstekort (IRU, 2019a).*

#### **2.1.1.4 Kwalificaties: vaardigheden en opleiding**

Doorheen de jaren zijn de banen in de logistieke sector heel wat complexer geworden waardoor ook de opleidingsbehoeften zijn toegenomen. Deze transformatie is volgens Lodovici et al. (2009) te wijten aan:

- Technologische innovatie
- Globalisering
- Verhoogde complexiteit van de regelgeving
- Extra taken

Omdat een gebrek aan arbeidskrachten het gevolg kan zijn van een verschil tussen de vaardigheden die werknemers aanbieden en de vaardigheden waarnaar bedrijven op zoek zijn, is het belangrijk om de beroepsvaardigheden te analyseren. Uit die analyse blijkt dat het beroep van chauffeur in het verleden vaak gezien werd als een uitweg voor mensen zonder speciale beroepsvaardigheden of voor mensen die lange tijd werkloos bleven. Bijgevolg had de sector dan ook een hoog percentage aan ongeschoolde werknemers.

Tot op heden is het rijbewijs vaak nog steeds de enige vereiste om het beroep van vrachtwagenchauffeur uit te oefenen. Bedrijven zijn echter vaak op zoek naar werknemers die over een breder aanbod aan competenties beschikken dan enkel rijden met de vrachtwagen. Momenteel heerst daarom een "mismatch" tussen de arbeidscompetenties die bedrijven zoeken en de competenties die te vinden zijn op de arbeidsmarkt.

#### **2.1.1.5 Europese regelgeving**

Op Europees niveau bestaat een enorme hoeveelheid aan regelgeving die erop berust de logistieke sector te reguleren. De veelheid en de complexiteit van deze Europese regelgeving hebben op directe wijze een impact op het tekort aan arbeidskrachten. Het tekort is het gevolg

van een verandering in de gewenste vaardigheden van arbeidskrachten, wat te wijten is aan veranderingen in de regelgeving (Lodovici et al., 2009).

## **2.2 De maatschappelijke uitdagingen**

Naast de uitdagingen die logistieke bedrijven ervaren op operationeel vlak staat de logistieke sector ook voor enkele maatschappelijke uitdagingen. Over heel de wereld komen mensen in opstand omdat ze niet langer aanvaarden dat de externe kosten van de logistieke sector genegeerd worden door de sector. Zo heeft goederentransport naast interne kosten zoals brandstofverbruik en uurlonen ook heel wat externe kosten die niet in de prijs opgenomen worden. Deze externe kosten kunnen onderverdeeld worden in drie onderdelen, namelijk: verkeersonveiligheid, milieueffecten en congestie. Deze externe effecten worden gecreëerd buiten de marktwerking om (van Goeverden, 2009).

### **2.2.1 Verkeersonveiligheid**

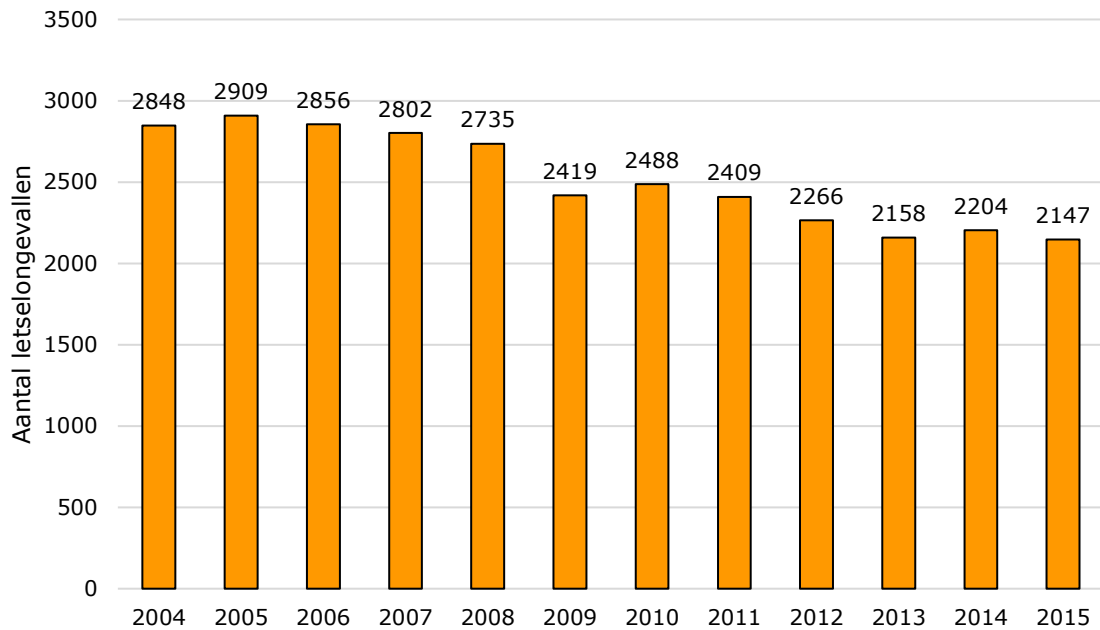
Goederentransport omvat bijna altijd wegtransport. Ondanks een shift van unimodaal wegtransport naar multimodaal transport worden nog steeds heel wat goederen over de weg getransporteerd. Deze vervoerswijze zorgt voor meer verkeer en heeft daarbij een impact op de verkeersveiligheid (A. Caris, persoonlijke communicatie, februari 2019).

In de media worden vaak berichten gepubliceerd over zware ongevallen met vrachtwagens. Hierdoor wordt de indruk gewekt dat de ernst bij ongevallen met vrachtwagens veel groter is dan bij ongevallen met personenwagens. Op vraag van beleidsmakers en transportfederaties startte het Belgisch Instituut voor Verkeersveiligheid (BIVV), dat later werd omgevormd tot Vias institute, in 2014 een onderzoek naar de oorzaken van ongevallen met vrachtwagens (Temmerman, Sloomans, & Lequeux, 2016).

#### **2.2.1.1 Letselgevallen met vrachtwagens**

In de periode van 2004 tot en met 2015 werden jaarlijks gemiddeld om en bij de 2.520 letselgevallen geregistreerd waarbij minstens één vrachtwagen betrokken was. Het gaat hierbij niet enkel over letsels bij inzittenden van de vrachtwagen, maar ook over eventuele letsels van andere partijen die betrokken geraakten in het ongeval. In 2009 is een opmerkelijke daling vast te stellen. In vergelijking met 2008 daalde het aantal geregistreerde letselgevallen in dat jaar met meer dan elf procent. Deze daling is ook van blijvende aard. De vermoedelijke reden van de daling in het aantal letselgevallen is een daling van het aantal kilometers afgelegd door vrachtwagens als gevolg van de economische crisis die aanving in 2008 (Temmerman et al., 2016; Wilmots et al., 2009).

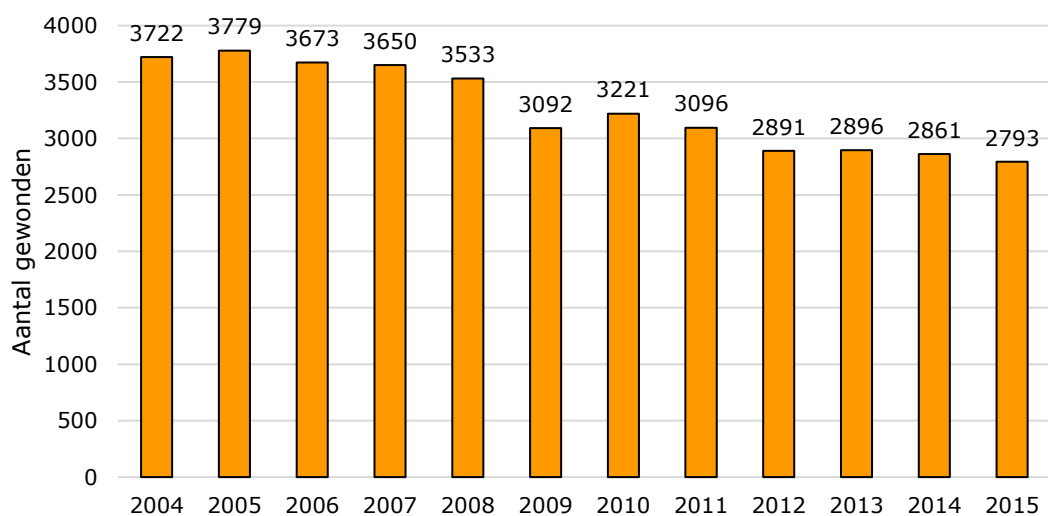
Zoals hierboven reeds vermeld werd, bekijkt deze studie niet enkel de letsels van de inzittenden van vrachtwagens. Volgens Wilmots, Hermans & Brijs (2009) is het namelijk zo dat vrachtwagens hoofdzakelijk een risico vormen voor andere personen die betrokken geraken in een ongeval.



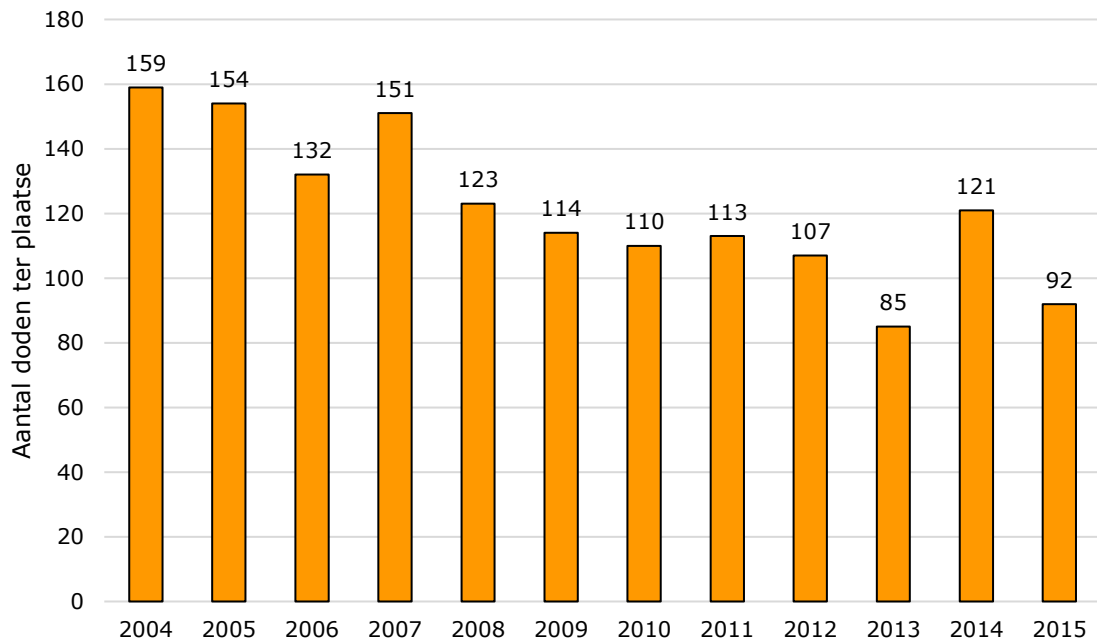
Figuur 3 Evolutie aantal letselongevallen met minstens één vrachtwagen in België (Temmermans, Sloomans, & Lequeux, 2016).

### 2.2.1.2 Gewonden bij vrachtwagenongevallen

Onderzoek wijst uit dat het aantal gewonden die betrokken waren in een ongeval met minstens één vrachtwagen sinds 2005 elk jaar daalt, met uitzondering van 2010. Ondanks een daling van het aantal letselongevallen waren in 2015 nog altijd 2.793 gewonden betrokken bij ongevallen met vrachtwagens. In datzelfde jaar vielen ook 92 dodelijke slachtoffers ter plaatse van het ongeval. Doordat het aantal dodelijke slachtoffers een veel kleiner aantal is en een onstabiel verloop kent, is het moeilijker om op basis van deze gegevens conclusies te trekken. Het is echter wel duidelijk dat ook het aantal dodelijke slachtoffers ter plaatse van het ongeval in de periode van 2004 tot en met 2015 sterk gedaald is, namelijk met 42 procent (Temmerman et al., 2016).



Figuur 4 Evolutie aantal gewonden in ongevallen met vrachtwagens in België (Temmerman, Sloomans, & Lequeux, 2016).



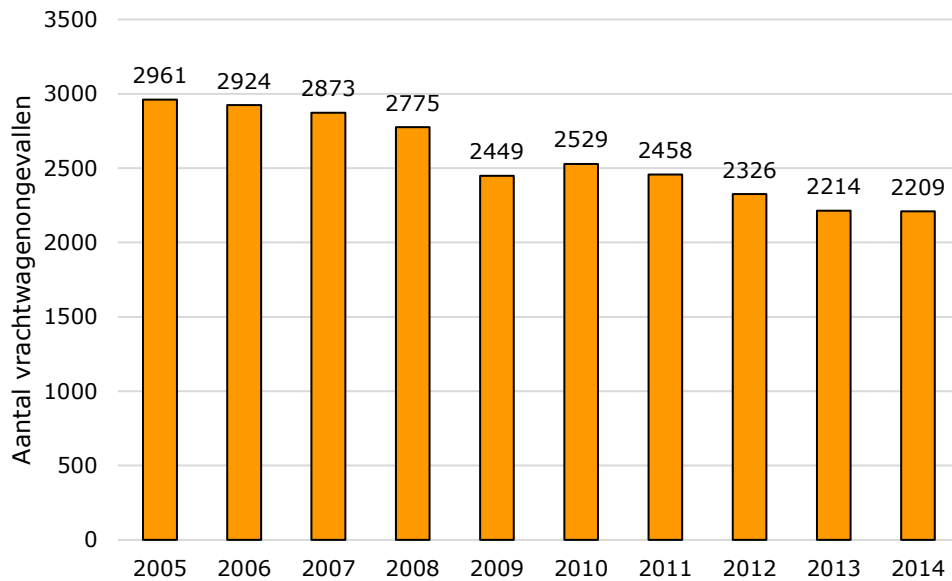
*Figuur 5 Evolutie aantal doden ter plaatse in ongevallen met vrachtwagens in België (Temmermans, Sloomans, & Lequeux, 2016).*

### **2.2.1.3 Risicoanalyse vrachtvervoer**

Om een duidelijk beeld te krijgen van de risico's die verbonden zijn aan vrachtvervoer door middel van vrachtwagens, is het interessant om een vergelijking te maken met het totaal aantal letselongevallen. Op die manier is het mogelijk om te zien of het ongevalsrisico bij vrachtwagens hoger ligt dan bij andere voertuigen. Om een duidelijke vergelijking tot stand te brengen, wordt het ongevalsrisico uitgedrukt in het aantal ongevallen per afgelegde voertuigkilometer. De ernst van de betreffende ongevallen wordt uitgedrukt in aantal doden per 1.000 ongevallen (Temmerman et al., 2016).

Uit onderzoek van Temmerman et al. (2016) kan geconcludeerd worden dat het risico op een ongeval met een vrachtwagen in de periode van 2005 tot en met 2014 gedaald is met 25 procent.

In vergelijking met andere voertuigen veroorzaken vrachtwagens ook minder ongevallen dan gemiddeld. Op basis van de afgelegde afstanden is het namelijk zo dat minder ongevallen gebeuren met vrachtwagens dan met andere voertuigen. Daarentegen is het wel zo dat de kans op een fatale afloop bij vrachtwagens veel hoger ligt. Hetzelfde valt op te merken bij de ernst van letselongevallen. In 2014 vielen in België met vrachtwagens 60 doden per 1.000 letselongevallen, in vergelijking met achttien doden per 1.000 letselongevallen bij andere voertuigen. Ongevallen met vrachtwagens zijn dus 3,4 keer zo ernstig als alle andere verkeersongevallen samen (Temmerman et al., 2016).



*Figuur 6 Evolutie van het aantal ongevallen met vrachtwagens in België (Temmermans, Slootmans, & Lequeux, 2016).*

Vrachtwagenchauffeurs hebben volgens onderzoek van Temmerman et al. (2016) over het algemeen veel ervaring en brengen veel tijd door op de weg. Hierdoor wordt de vraag gesteld wat de oorzaak is van ongevallen met vrachtwagens. De belangrijkste ongevalsoorzaak blijkt het gedrag van de bestuurders. Zo is het in complexe situaties vaak moeilijk voor vrachtwagenbestuurders om het overzicht te kunnen bewaren. Daarnaast wordt de afstand op andere voertuigen niet altijd gerespecteerd. Bovendien blijkt ook dat vrachtwagenbestuurders vaker afgeleid zijn door gsm-gebruik. Verder is vermoeidheid een bepalende factor bij het veroorzaken van ongevallen. Ook het gebruik van stimulerende middelen om vermoeidheid af te weren blijkt problematisch. Tot slot leidt het gedrag van andere weggebruikers ook vaak tot ongevallen met vrachtwagens. Zo gebeurt het dat andere automobilisten geen rekening houden met vrachtwagens en kort invoegen of bruusk remmen.

Naast gedrag van vrachtwagenbestuurders kunnen ook persoonlijke kenmerken een rol spelen bij ongevallen. Zo veroorzaken mannen bijvoorbeeld meer ongevallen dan vrouwen (Berdahl, 2008; Temmerman et al., 2016). Daarnaast hebben vrachtwagenbestuurders vaker last van slaapapneu waardoor hun nachtrust verstoord wordt. Tot slot zijn vrachtwagenbestuurders vatbaar voor hart- en vaatziekten omwille van hun ongezonde levensstijl. Zo is hun bioritme vaak verstoord, bewegen ze minder, roken ze veel en maken ze lange uren (Temmerman et al., 2016).

Ook omgevingsfactoren oefenen een invloed uit op ongevallen. Zo leiden wegwerkzaamheden, files en een slechte infrastructuur tot meer ongevallen. Dit komt bijvoorbeeld doordat het voor vrachtwagens lastiger is om scherpe bochten te nemen. Daarnaast zijn invoegstroken soms niet lang genoeg en zorgen hellingen voor een groot verschil in snelheid met andere weggebruikers (Temmerman et al., 2016).

Tot slot kunnen ook enkele voertuigfactoren de oorzaak zijn van ongevallen. Zo zijn vrachtwagens soms te zwaar of verkeerd geladen waardoor de lading van de vrachtwagen kan vallen (European Agency for Safety and Health at work, 2010). Ook worden veel ongevallen veroorzaakt door de dode hoek. Doorheen de jaren hebben overheden de problemen met de dode hoeken proberen op te lossen door meer spiegels te verplichten. Desondanks vormt dit tot op heden nog altijd een probleem voor vrachtwagenbestuurders (Riguelle, 2011; Stichting Wetenschappelijk Onderzoek verkeersveiligheid, 2012). Verder kunnen ook technische defecten zoals problemen met de remmen, de verlichting of met de ophanging en koppeling tussen de trekker en de oplegger ongevallen veroorzaken (Temmerman et al., 2016).

### **2.2.2 Milieueffecten**

In Vlaanderen vervult de logistieke sector een prominente rol binnen de economie. Zo zorgt de sector voor veel tewerkstelling en heeft ze door de jaren heen sterk bijgedragen aan het potentieel en het concurrentievermogen van de regio. Naast heel wat positieve economische effecten heeft transport ook een negatieve impact op het milieu. Vervuiling ten gevolge van transport kan zowel lokale als globale gevolgen hebben. Het onderscheid hangt af van het type vervuilende stoffen die uitgestoten worden. De uitstoot is het grootst in stedelijke gebieden en leidt dan ook vooral tot lokale milieuvervuiling (Kijewska, Konicki, & Iwan, 2016).

Uit onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij (2019) blijkt dat de luchtvervuiling in Vlaanderen daalt. Desondanks slaagt de regio niet in het behalen van de Europese jaargrenswaarde voor stikstofdioxide. De volksgezondheid wordt tot op heden dan ook nog steeds negatief beïnvloed omwille van de povere luchtkwaliteit. Binnen Europa hebben fijn stof, stikstofdioxide en ozon de grootste impact op de volksgezondheid. Deze negatieve impact veroorzaakt heel wat slachtoffers. Zo overlijden in Europa jaarlijks gemiddeld 6.300 mensen omwille van de negatieve impact van fijn stof, stikstofdioxide en ozon. Daarnaast ondervindt een groter deel van de bevolking minder zware gevolgen van de luchtvervuiling. De medische gevolgen die luchtvervuiling met zich meebrengt, zorgt daarnaast ook voor economische gevolgen. Zo berekende de Europese Commissie voor België een jaarlijkse kost van meer dan 8 miljard euro ten gevolge van luchtvervuiling. Deze kost omvat onder andere medische kosten en een productiviteitsdaling als gevolg van werkverlet.

Naast de negatieve impact op de gezondheid weegt de luchtvervuiling ook op de ecosystemen in Vlaanderen. Zo leidt luchtvervuiling tot verzuring en vermesting. Door verzuring daalt de buffercapaciteit van de bodem en worden giftige metalen vrijgesteld. Daarnaast heeft dit ook waterverontreiniging tot gevolg. De vermesting leidt op zijn beurt tot een verstoring van natuurlijke kringlopen en ecologische processen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019).

Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij (2018) wijst uit dat de transportsector verantwoordelijk is voor 60 procent van de stikstofdioxide die jaarlijks wordt uitgestoten. Daarnaast is ook 20 procent van andere verontreinigende stoffen het gevolg van activiteiten binnen deze sector. Binnen de sector is wegverkeer één van de belangrijkste oorzaken van vervuiling. Zo zorgt het wegverkeer bijvoorbeeld voor de helft van het fijn stof. Door het



wegtransport te reduceren, zou het voor de sector mogelijk zijn om haar aandeel in de totale uitstoot drastisch te verminderen.

### **2.2.3 Congestie**

Door een toename van het Belgisch verkeer, mede door een groeiende vraag naar transport, neemt de drukte op de wegen steeds meer toe. Daarom zijn maatregelen nodig om de toenemende congestieproblemen op het Belgische wegennetwerk te reduceren. Op veel plaatsen in België wordt tijdens de ochtend- en avondspits het verzadigingspunt van de snelwegen bereikt met urenlange files tot gevolg. Op die manier neemt het aantal verloren file-uren ieder jaar verder toe. In Antwerpen verliezen bestuurders zo gemiddeld 34 minuten per dag omwille van files en vertragingen. In Brussel ligt dat zelfs nog hoger met een gemiddelde van 44 minuten per dag (De Moor, Immers, Bellemans, & Logghe, 2001; Vias institute, 2019). Daarbij heeft het Verbond van Belgische ondernemingen (2017) berekend dat ieder verloren uur in de file gemiddeld 80 euro kost voor een vrachtwagen en 11 euro voor een autobestuurder. De problemen lijken de komende jaren daarnaast alleen nog maar groter te worden. Vias institute (2019) voorspelt zo dat het totale verplaatsingsvolume met tien procent zal stijgen tussen 2012 en 2030. Dit is het gevolg van een voorspelde stijging van 11 procent in het personenvervoer en 45 procent in het goederenvervoer.

Congestie veroorzaakt daarnaast niet alleen economische kosten, maar zorgt ook voor sociale problemen en heeft bovendien een impact op het milieu. Congestieproblemen hebben gezorgd voor een stijging in de transportprijzen, een langere reistijd en een toename van het diesel- en benzineverbruik. Daarnaast verliezen transportbedrijven aan betrouwbaarheid doordat ze niet op tijd kunnen leveren. Veel bedrijven hanteren het just-in-time principe om voorraadkosten te minimaliseren. Door de onzekerheid op de wegen dienen bedrijven echter net grotere opslagruimtes te bouwen om te kunnen anticiperen op vertragingen in het verkeer. Ook zorgen congestieproblemen voor grote snelheidsverschillen waardoor de kans op ongevallen toeneemt. Daarnaast veroorzaakt congestie ook stress bij autobestuurders en zorgt het tijdsverlies als gevolg van files voor een daling van de levenskwaliteit. Tot slot zorgen congestieproblemen voor een verhoogde luchtverontreiniging, lawaaihinder, slijtage aan de weginfrastructuur. Daarnaast kunnen aanhoudende problemen op lange termijn zorgen voor een concurrentienadeel in Vlaanderen ten opzichte van andere regio's. Hierdoor is het mogelijk dat onderneming beslissen om hun logistieke activiteiten te verplaatsen (Vias institute, 2019)

## **Toepassingen van ondergronds transport**

Al sinds de negentiende eeuw onderzoekt de mens de mogelijkheid om transport ondergronds te organiseren. Zo werd in 1853 in Londen voor het eerst een ondergronds logistiek systeem in dienst gesteld. Dit systeem kreeg de naam "pneumatic dispatch system" en werd gebruikt om berichten en telegrammen van telegramcentrales naar andere kantoren te vervoeren. Niet veel later in 1863 opende, opnieuw in Londen, de eerste ondergrondse metrolijn ter wereld. De Londense metro bewees haar succes en kreeg dan ook overal ter wereld navolging (Cui & Nelson, 2019).

Ook in onze huidige samenleving wordt nog steeds onderzocht welke mogelijkheden ondergronds (goederen)transport biedt. De wereldbevolking is de laatste eeuw sterk toegenomen waardoor steeds vaker ruimteproblemen ontstaan. Hierdoor wordt steeds vaker in de richting van ondergrondse transportmogelijkheden gekeken (Cui & Nelson, 2019). De ontwikkeling van ondergronds transport wordt dan ook aanzien als een belangrijk instrument voor het hervormen van stedelijke gebieden (Broere, 2016). Voor stedelijke agglomeraties zijn de vervoerssystemen namelijk één van de belangrijkste infrastructuurdiensten (D'Lima & Medda, 2015). Het gebruik van ondergrondse infrastructuur is daarom de laatste jaren een opkomende trend in de ontwikkeling van steden (Zhao & Künzli, 2016). Ondergrondse vervoerssystemen worden door steden als een mogelijke oplossing gezien voor de verkeerscongestie, geluidshinder en luchtvervuiling (Cui & Nelson, 2019).

In deze sectie wordt onderzoek gedaan naar verschillende soorten van ondergrondse transportsystemen. Daarbij wordt een opdeling in drie verschillende soorten systemen gemaakt. Eerst wordt kort ingegaan op ondergrondse spoor- en snelwegssystemen. Vervolgens wordt in detail onderzocht wat Ongehinderde Logistieke Systemen inhouden.

### ***3.1 Ondergrondse spoorwegssystemen***

Een ondergronds spoorwegsysteem wordt typisch omschreven als een spoorlijn die binnen de bebouwde kom van een stad rijdt en die het centrum van de stad doorkruist door middel van tunnels (Cui & Nelson, 2019).

Net als bij andere vormen van ondergronds vervoer, heerst ook een bezorgdheid omtrent het effect van de ondergrondse spoorwegssystemen op de gezondheid van de reizigers (Cui & Nelson, 2019). Zo blijkt uit onderzoek dat de concentratie fijnstof (PM) op de perrons een negatieve impact heeft en schade toebrengt aan de gezondheid. De PM-concentratie is daarnaast ook groter op de perrons dan in de trein en de concentratie op deze laatstgenoemde locatie wordt beïnvloed door het zogenoemde "piston wind" effect dat door de aankomende voertuigen veroorzaakt wordt. Daarnaast is het perron ook de plaats waar dit fenomeen het meeste effect heeft. Om de impact van de piston wind op de gezondheid van de passagiers te verminderen, dienen de juiste ventilatiesystemen zowel in de tunnels als in de voertuigen geïnstalleerd te worden (Wang et al., 2016). Zo toont een studie van Seaton et al. (2005) aan dat de concentratie fijnstof in de Londense metro geen significant risico vormt voor de

gezondheid van de passagiers dankzij de installatie van de juiste ventilatiesystemen.

Daarnaast worden digitale technologieën ingezet om de veiligheid van treinen te verhogen, signalisatie efficiënter te maken en de netwerkprestaties te verbeteren. Door de toenemende automatisering en het gebruik van autonome treinstellen worden de perspectieven voor een grotere betrouwbaarheid en efficiëntie van zowel het personen- als het goederenvervoer vergroot (Cui & Nelson, 2019).

### **3.2 Ondergrondse (snel)wegen**

Ondergrondse (snel)wegen zijn wegen die door (diepe) tunnels onder de stad lopen en die bereikt kunnen worden via in- en uitritten die geïntegreerd zijn in het verkeersnetwerk (National Research Council of the National Academies, 2013). Dankzij de ondergrondse wegen kan het verkeer bovengronds worden gereduceerd. Hierdoor kan plaats vrijgemaakt worden voor de herinrichting van land en worden mogelijkheden gecreëerd voor het behoud van het landschap. Daarnaast is een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen mogelijk en een vermindert het aantal ongevallen bij slecht weer (Ma & Peng, 2018). Tot slot draagt de aanleg van ondergrondse (snel)wegen bij aan de ontwikkeling van duurzaam stedelijk vervoer (Cui & Nelson, 2019).

Volgens Bobylev (2009) wordt de ontwikkeling van ondergrondse ruimtes in het algemeen in verband gebracht met hoge kosten van ondergrondse bouwwerkzaamheden, mogelijke geografische risico's en archeologische risico's. Door de hoge kostprijs wordt volgens Cui en Nelson (2019) weinig aandacht geschonken aan mogelijke milieu- en sociale voordelen. Zo zorgen deze ondergrondse ruimtes onder andere voor minder geluidshinder en verkeerscongestie en bijgevolg dus ook voor minder bovengrondse luchtvervuiling, maar zorgen ze daarnaast ook voor stadsvernieuwing.

Ondergrondse (snel)wegen brengen echter ook enkele nadelen met zich mee zoals milieuproblemen en veiligheidskwesties. Zo is brandveiligheid een belangrijk aspect in ondergrondse tunnels. Door een groeiend aantal brandincidenten in ondergrondse tunnels zijn overheden ertoe gedwongen geworden om maatregelen te nemen en op die manier incidenten te vermijden (Li & Ingason, 2018). Zo moeten bijvoorbeeld voldoende nooduitgangen voorzien worden samen met communicatie- en alarmsystemen (Martin & Van Dessel, 2005). Naast vragen omtrent de brandveiligheid, heeft de toename aan ondergrondse (snel)wegen ook vragen doen rijzen over de volksgezondheid. Zo komen de uitlaatgassen van voertuigen bij ondergronds transport in een gesloten ruimte terecht (Li & Ingason, 2018). Daarom is volgens Kuykendall et al. (2009) verder onderzoek nodig om de concentratie van chemische stoffen in ondergrondse ruimtes te analyseren. Dit om te helpen bij het ontwerpen van een beter ventilatiesysteem voor toekomstige ondergrondse ruimtes. Op die manier moet het mogelijk zijn om de milieu- en gezondheidsimpact van de uitlaatgassen te verminderen.

### **3.3 Ongehinderde Logistieke Systemen (OLS)**

In steden is goederenvervoer van essentieel belang om de stad te kunnen laten functioneren. Goederenvervoer maakt dan ook een groot deel uit van het totale vervoer (Cui, Dodson, & Hall, 2015). Ondergrondse logistieke systemen kunnen sterk bijdragen aan de efficiëntie van goederenvervoer en kunnen in twee mogelijke vormen plaatsvinden. Enerzijds kan gebruikgemaakt worden van voertuigen of treinen die voortbewegen door ondergrondse tunnels. Zo kunnen metrosystemen, mits aanpassing, ook ingezet worden voor goederentransport. In Chicago bijvoorbeeld werd in het begin van de twintigste eeuw zo'n ondergronds transportsysteem ontwikkeld voor het transport van afval en kolen (Visser & Geerlings, 2001). Anderzijds kan geopteerd worden om goederen te transporteren door middel van capsules in ondergrondse pijpleidingen. Zoals eerder vermeld werd, werd in 1853 in London bijvoorbeeld gebruikgemaakt van pijpleidingen voor het versturen van telegrammen en brieven (Zhao et al., 2018). Daarna werd het systeem ook in Berlijn (1865), Parijs (1866) en Praag (1889) in gebruik genomen vooraleer het verder verspreid werd naar de rest van de wereld (Egbunike & Potter, 2011).

In navolging van eerdergenoemde transportsystemen hebben verschillende landen studies uitgevoerd naar de haalbaarheid van moderne ondergrondse vrachtvervoersystemen. Zo onderzochten onderzoekers van de Ruhr-Universiteit Bochum in Duitsland de haalbaarheid van CargoCaps. Dat is een transportleidingsysteem op basis van individueel aangedreven en computergestuurde transporteenheden die kortweg Caps genoemd worden (Stein & Schoesser, 2003). Dit systeem wordt later in sectie 3.3.4.1 nader onderzocht. Ook in Nederland werden door de overheid studies uitgevoerd om de haalbaarheid van ondergronds vrachtvervoer te onderzoeken (Pielage, 2001; Wiegmans, Visser, Konings, & Pielage, 2010). In New York en Dallas werden daarnaast vergelijkbare studies uitgevoerd over ondergronds transport door pijpleidingen (Liu, 2004; Shahooei, Farogghi, Zahedzahedani, Shahandasht, & Ardekani, 2018). Tot slot heeft China in 2018 een systeem voorgesteld om vrachtvervoer te integreren in het metronetwerk (Zhao et al., 2018). Al deze onderzochte systemen worden gecategoriseerd onder de term OLS dat voluit staat voor "Ongehinderde Logistieke Systemen".

In onderstaande secties worden de werking, de relevantie en de voordelen van Ongehinderde Logistieke Systemen onderzocht. Tot slot worden specifieke toepassingen van een OLS bekeken.

#### **3.3.1 De werking van Ongehinderde Logistieke Systemen**

Een Ongehinderd Logistiek Systeem (OLS) is een systeem dat het laden, het lossen en de overslag van stukgoederen mogelijk maakt op een geheel automatische wijze. Dit gebeurt door kleine zendingseenheden te transporteren door pijpleidingen die zich ondergronds bevinden. Het transport van de goederen gebeurt door middel van "Automatisch Geleide Voertuigen" (AGV's) met gestandaardiseerde ladingdragers. Met behulp van intelligente besturingssystemen kan een hoge bezetting, verhoogde betrouwbaarheid en een hogere mate van flexibiliteit behaald worden (van der Heijden & Ebben, 2001).

### **3.3.2 De relevantie van Ongehinderde Logistieke Systemen**

De toenemende verkeersdrukke heeft invloed op de bereikbaarheid van stedelijke gebieden. Daarnaast heeft dit ook gevolgen op vlak van milieu, ruimtegebruik en verkeersveiligheid. Deze problemen worden in de komende jaren naar alle verwachting steeds groter. Ondernemingen en overheden zijn dan ook uitvoerig op zoek naar alternatieven. Een gedeelte van het goederenvervoer zou kunnen gebeuren door middel van Ongehinderde Logistieke Systemen. Vooral bij goederen waarbij een vertraagde levering negatieve gevolgen heeft, zou transport via OLS een oplossing kunnen bieden. Hierbij kan gedacht worden aan bederfelijke (export)goederen die op tijd moeten geleverd worden zodat ze hun trein- of vliegtuigverbinding niet missen. Indien bijvoorbeeld bloemen, verse groenten of fruit een dag later kunnen vertrekken dan gepland, dan heeft dat zeer grote gevolgen voor de waarde van deze goederen bij aankomst op bestemming. Hetzelfde geldt voor kranten en dure reserveonderdelen die snel aanwezig moeten zijn voor de reparatie van hightech apparatuur (van der Heijden & Ebben, 2001).

### **3.3.3 De voordelen van een Ongehinderde Logistiek Systeem**

Een Ongehinderd Logistiek Systeem kan volgens van der Heijden en Ebben (2001) het best opgevat worden als een openbaar vervoersmodel voor stukgoederen met volgende belangrijke voordelen:

- Een hogere betrouwbaarheid op vlak van leveringen en een duidelijk voorspelbare doorlooptijd in vergelijking met traditioneel transport over de weg. Door congestie worden de transporttijden van transport op traditionele wijze namelijk steeds moeilijker voorspelbaar.
- Een hoge flexibiliteit omdat een OLS adequaat kan omspringen met een groot aantal zendingen die vertrekken vanuit verschillende locaties en naar verschillende plaatsen vervoerd moeten worden. Last minute zendingen kunnen doorgaans snel afgewerkt worden omwille van een ingenieuze logistieke besturing. Daarnaast is een OLS ideaal voor zendingen met een kleinere omvang. Dat past perfect bij de algemene tendens van de logistieke sector met meer spoedbestellingen en een hogere frequentie van bestellingen met een kleinere omvang.
- Vermindering van de overlast die teweeggebracht wordt door traditioneel wegtransport. Een voorbeeld hiervan is dat minder geluidshinder wordt veroorzaakt wanneer goederen ondergronds worden getransporteerd in plaats van bovengronds. Daarnaast wordt ook minder CO<sub>2</sub> geproduceerd omwille van de elektrische aandrijving van het Ongehinderde Logistieke Systeem. Vervolgens heeft een OLS ook een positieve invloed op de verkeersveiligheid in termen van aantal doden en gewonden omdat het systeem onbemand bestuurd wordt en op eigen infrastructuur functioneert.
- Door de spoedige, flexibele afhandeling en de inbegrepen overslag kan een OLS ook de aaneensluiting met alternatieve vervoerswijzen zoals spoor en binnenvaart in de hand werken. Op die manier vindt een modal shift plaats van het traditioneel wegtransport naar alternatieve modaliteiten die schoner en veiliger zijn.

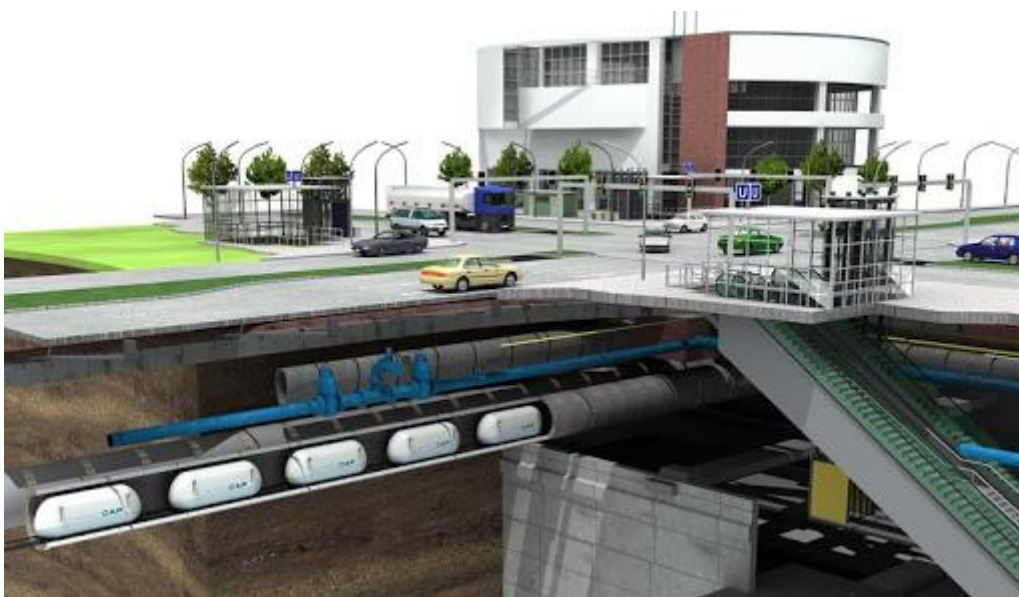
Uit voorgaande alinea blijkt dat Ongehinderde Logistieke Systemen heel wat concrete voordelen hebben. Langs de andere kant staat tegenover deze voordelen een relatief hoge investeringskost. De kostprijs om een ondergrondse buis met een diameter van vijf meter te boren, wordt geschat op veertig miljoen euro per kilometer (van der Heijden & Ebben, 2001).

### **3.3.4 Specifieke toepassingen van Ongehinderde Logistieke Systemen**

In dit deel zullen specifieke toepassingen van Ongehinderde Logistieke Systemen onderzocht worden. Allereerst wordt het systeem CargoCaps onderzocht. Dat is een specifiek systeem dat door middel van transporteenheden in ondergrondse transportleidingen goederen kan vervoeren en momenteel in Duitsland onderzocht wordt. Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van een Tulpenlijn tussen de luchthaven van Schiphol en de bloemenveiling van Aalsmeer. Vervolgens worden Ongehinderde Logistieke Systemen bekeken in functie van stedelijke distributie en havens. Tot slot wordt de link tussen Buisleiding Transport en Ongehinderde Logistieke Systemen onderzocht.

#### **3.3.4.1 Cargocaps**

CargoCaps is een nieuw, innovatief transportsysteem om stukgoederen te transporteren in stedelijke gebieden door middel van ondergrondse transportleidingen. Deze manier van transporteren kan de economische schade verminderen die veroorzaakt wordt door milieu- en verkeersproblemen in stedelijke gebieden. In 2010 werden voor het eerst testen uitgevoerd op een modeltraject aan de Universiteit van Bochum. Op dat moment werd tevens op zoek gegaan naar een proeflijn om verder onderzoek uit te voeren (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 2010). Onderstaande figuur geeft weer hoe CargoCaps in realiteit gerealiseerd zou kunnen worden.

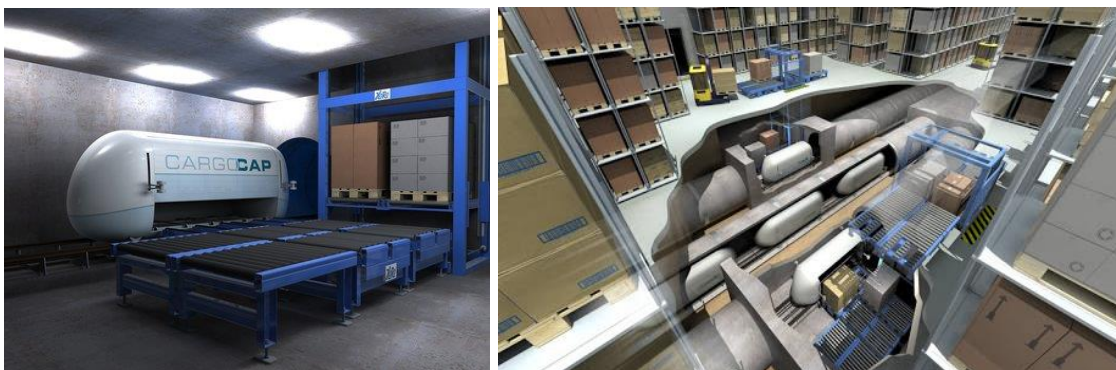


*Figuur 7 Concepttekening CargoCaps (CargoCap GmbH, 2017).*

CargoCaps is ontworpen als een vijfde, aanvullende, vervoersalternatief dat naast het vervoer

via weg, spoor, water en lucht kan bestaan. Dit systeem kan in dichtbevolkte en verstedelijkte gebieden goederen vervoeren op een automatische, snelle, economische, betrouwbare en milieuvriendelijke wijze. Het vervoer gebeurt ondergronds en automatisch of volautomatisch door individuele, computergestuurde transporteenheden die elektrisch aangedreven worden (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 2010).

De "caps" hebben een laadruimte van 80 x 120 x 105 centimeter en kunnen twee EUR-paletten vervoeren met een maximumgewicht van 1.500 kilogram. De paletten zijn een voor Europa gestandaardiseerde ladingdrager die in de praktijk zeer veel gebruikt worden. Door het gebruik van deze paletten wordt de implementatie van het systeem in bestaande logistieke ketens vergemakkelijkt. Doordat maar twee EUR-paletten per eenheid geladen worden, wordt een hoge laad- en distributieflexibiliteit gegarandeerd. Daarnaast kunnen de CargoCaps ook automatisch gelost en geladen worden zoals te zien is op figuur 8 en 9. De lading kan vervolgens geleverd worden via een directe verbinding naar de stations of kan verder gedistribueerd worden met andere vervoersmiddelen in de directe nabijheid van de stations. Vooral in steden kan dit de omvang van het vrachtverkeer beperken (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 2010).



*Figuur 8 Automatisch laden en lossen van CargoCaps (CargoCap GmbH, 2017).*

*Figuur 9 Automatisch laden en lossen van CargoCaps (CargoCap, GmbH, 2017).*

#### **3.3.4.2 OLS Tulpenlijn Schiphol-Aalsmeer**

Ongehinderde Logistieke Systemen zijn, zoals eerder vermeld, zeer gepast voor het transporteren van bloemen. Daarom is in Nederland een haalbaarheidsstudie uitgevoerd om door middel van een OLS de bloemenveiling in Aalsmeer te verbinden met Amsterdam Airport Schiphol. Deze verbinding zou opgezet worden om bloemen te vervoeren die via de luchthaven geëxporteerd worden (van der Heijden & Ebben, 2001).

De haalbaarheidsstudie kwam tot stand na een lange periode met problemen omtrent bereikbaarheid over de weg. Files zorgden namelijk vaak voor problemen en leidden tot onzekere aankomsttijden. Voor de concurrentiepositie van de luchthaven en de veiling is het van belang om de bereikbaarheid voor tijdskritische goederen te behouden en indien mogelijk te verbeteren. Door de onzekerheid die gepaard gaat met wegtransport was dat echter zeer moeilijk. Zo kwam de leveringsbetrouwbaarheid van de bloemenveiling sterk in het gedrang.

In de zoektocht naar een structurele oplossing belandden beide partijen bij het Ongehindert Logistiek Systeem (OLS) dat in 2001 onderzocht werd (van der Heijden & Ebben, 2001).

De haalbaarheidsstudie wees echter uit dat het financieel risico te groot was waardoor de Tulpenlijn enkel in theorie een oplossing bleef. Het project werd uiteindelijk dan ook niet uitgevoerd. Enerzijds was de kostprijs van driehonderd miljoen euro te hoog om het project financieel aantrekkelijk te maken. Anderzijds was het niet zeker hoe de start- en landingsbanen op Schiphol in de toekomst zouden evolueren, waardoor het traject van de ondergrondse verbinding onzeker was (Folkert, 2006).

### **3.3.4.3 Underground Container Mover (UCM)**

Containeroverslag neemt steeds meer toe ten gevolge van de snelle ontwikkeling van havens. Het bestaande transportsysteem dat zich rond de havengebieden bevindt, kan bijgevolg niet meer beantwoorden aan de vraag naar containers. Hierdoor ontstaan steeds meer files rondom de havens. Deze congestie wordt voor vele havens en logistieke dienstverleners een groot probleem (Zhao, 2009). Naast het fileprobleem heeft vrachtverkeer ook een negatieve impact op het milieu. Veel havens zijn dan ook op zoek naar oplossingen. De haven van Rotterdam heeft bijvoorbeeld een verkeersdaling van twintig procent vooropgesteld tijdens de piekuren (Li & Liu, 2013). De haven van New York wordt dan weer voor het grootste deel getransformeerd tot een virtuele haven die zich focust op de administratieve havenfuncties en afscheid neemt van de echte havenfuncties. De intentie daarvan is om het stadcentrum zo veel mogelijk te ontlasten (Fan, Liang, Hu, & Li, 2020).

De invoer en uitvoer van containers gebeurt hoofdzakelijk door een combinatie van zee- en wegtransport. Door de eerdergenoemde snelle ontwikkeling van havens en de bijhorende congestieproblemen zal de kostprijs van containervervoer in de toekomst echter toenemen (Fan et al., 2020). Underground Container Mover, een OLS-toepassing, wordt gezien als een mogelijke oplossing voor de problematiek in de havengebieden. Door de efficiëntie van dit systeem kunnen namelijk de verkeerscongestie en de milieuvuiling beperkt worden, waardoor de toegankelijkheid en stabiliteit van het containertransport worden bevorderd (Fan & Qian, 2011).

In contrast met conventionele logistieke systemen bevindt een OLS zich niet bovengronds maar ondergronds. Om de goederen verder te kunnen vervoeren is een verbinding tussen het ondergrondse systeem en de bovengrond nodig. Een OLS bestaat daarom hoofdzakelijk uit twee elementen. Enerzijds het terminal-subsysteem en anderzijds het transport-subsysteem. Deze twee subsystemen vormen samen het Ondergronds Logistiek Systeem. Het terminal-subsysteem staat in voor de verbinding tussen het grondstelsel en het transportsysteem (Fan et al., 2020).

Underground Container Mover werkt volgens Fan et al. (2020) op basis van tweerichtingsverkeer. Het operationele proces van het OLS wordt als volgt beschreven:



- I. Een uitgaande container wordt door een Automatisch Geleid Voertuig (AGV) via de OLS- toren naar de ondergrondse logistieke bufferruimte vervoerd.
- II. Vervolgens verplaatst de geladen AGV zich naar het gebied dat zich direct onder de schacht bevindt. Boven deze ruimte bevindt zich een vaste werfkraan.
- III. De vaste werfkraan neemt de container op en plaats deze container op een wachtende, ongeladen containertruck. Deze truck brengt de container vervolgens naar de werf. Omwille van het feit dat de AGV's prioritair zijn ten opzichte van de vrachtwagens, wordt verondersteld dat het aantal trucks efficiënt is en de AGV's niet moeten wachten op de trucks.
- IV. Vervolgens neemt de vaste werfkraan een inkomende container op van een geladen containerwagen en plaatst de container op een ongeladen AGV. Aangezien de taak van de AGV bekend is, moet tijdens het lossen van de AGV een geladen containerwagen klaar staan op de grond.
- V. De geladen AGV gaat in het Ondergronds Logistiek Systeem.

In een studie van het Instituut Samenleving & Technologie (2012) werd onderzocht op welke mogelijke manieren Ongehinderde Logistieke Systemen zoals Underground Container Mover gebruikt kunnen worden binnen havens. Op basis van deze studie werden volgende mogelijke, toepassingsdomeinen onderzocht:

- Ondergrondse systemen voor het herpositioneren van containers in een havengebied.
- Ontsluiting van havens via een instappunt in het achterland.
- Verbindingen tussen havens over een lange afstand via corridors.

#### **3.3.4.4 Buisleiding Transport (BLT)**

Transport door leidingen wordt aangeduid als de vijfde transportmodaliteit, naast weg, spoor, water en luchtvervoer, de vier traditionele vormen van transport. De vijfde transportvorm is voornamelijk gekend voor het transporteren van vloeistoffen en gassen, zoals drink-, industrie- en afvalwater maar ook voor olieproducten, industriële gassen en aardgas (Lestrade-Brouwer, 2007).

Buisleiding Transport lijkt in vele opzichten op de Ongehinderde Logistieke Systemen die eerder besproken werden. Toepassing zoals Cargocaps en Underground Container Mover worden daarom vaak gezien als een uitbreiding van het traditionele buisleidingennetwerk voor vloeistoffen en gassen (Interdepartementale projectorganisatie Ondergronds Transport (IPOT), 1998). Daarom wordt in deze sectie onderzocht in hoeverre de voor- en nadelen van Buisleiding Transport overeenstemmen met Ongehinderde Logistieke Systemen.

Transport door pijpleidingen gaat volgens Janse & Rensma (2008), Lestrade-Brouwer (2007) en Policy Research Corporation (2007) gepaard met zowel voor- als nadelen. Een eerste voordeel is dat de leidingen 24 uur per dag gebruikt kunnen worden. Daarnaast kunnen de aankomsttijden van de goederen nauwkeurig bepaald worden en zijn de onderhoudskosten

beperkt in vergelijking met andere transportmodi. Buisleidingsystemen hebben bovendien ook een lange levensduur en zijn niet afhankelijk van weersomstandigheden. Tot slot is ook de kans op verlies of beschadiging minimaal. Het grootste voordeel blijft net zoals bij Ongehinderde Logistieke Systemen natuurlijk dat congestie verminderd kan worden.

De grootste nadelen die blijken uit het onderzoek van Lestrade-Brouwer (2007) van het gebruik van pijpleidingen is de lage mate van flexibiliteit en de hoge investeringskost. Zo is de leiding meestal slechts bruikbaar voor één type goed. Daarnaast kunnen de leidingen vaak maar door één partij gebruikt worden en gaat de aanleg gepaard met hoge kosten. Tot slot wordt ook de vraag gesteld of transport door pijpleidingen een duurzame transportmodus is. Om dit te bepalen dienen een aantal aspecten in rekening genomen te worden:

- Het ruimtebeslag.
- De milieubelasting.
- De veiligheid.

Op vlak van ruimtebeslag is het belangrijk om een verschil te maken tussen de korte en de lange termijn. Op lange termijn hebben ondergrondse leidingen het voordeel dat ze een relatief kleine ruimte in beslag nemen. Zo liggen ze namelijk onder de grond en verstoren ze bijgevolg het landschap niet. Op korte termijn brengt het aanleggen van ondergrondse leidingen echter een grote verstoring met zich mee tijdens de bouwfase. Zo wordt op korte termijn zowel op het gebied van geluid als uitzicht het landschap verstoord. Deze negatieve invloed herstelt zich echter snel. Zo is het na de bouwwerken al snel terug mogelijk om het landschap terug te gebruiken waarvoor het oorspronkelijk diende. Daardoor is het effect op het landschap op lange termijn eerder gering (Janse & Rensma, 2008; Lestrade-Brouwer, 2007).

Op gebied van milieubelasting is het moeilijk te bepalen of ondergronds transport energiezuiniger is dan de andere transportmodaliteiten. Wanneer een goed door een leiding van punt A naar punt B getransporteerd moet worden, is hier drukverschil voor nodig. Dit drukverschil wordt geleverd door een pomp of een compressor. Deze pomp of compressor wordt aangedreven door middel van een motor die op brandstof werkt. De druk die nodig is om een goed doorheen een leiding te verplaatsen is afhankelijk van verschillende factoren. Zo spelen condities op het begin- en eindpunt zoals druk en temperatuur een belangrijke rol. Daarnaast hebben ook eigenschappen van het te vervoeren goed een impact. Een voorbeeld daarvan is de dichtheid die op zijn beurt ook beïnvloed wordt door druk en temperatuur. Zo kan het voorvallen dat de goederen voor, tijdens of na het transport gekoeld of verwarmd moeten worden (Janse & Rensma, 2008).

De veiligheid van ondergrondse buisleidingen wordt positief beïnvloed doordat buisleidingen andere transportmodi niet hinderen. Omdat geen conflicten of ongelukken tussen verschillende transportmodi mogelijk zijn, biedt buisleidingstransport dan ook een relatief hoge externe veiligheid. Het grootste externe veiligheidsrisico voor buisleidingen komt voort uit graafwerken. Doordat routes van gas- of waterleidingen niet altijd exact bekend zijn of vaak

niet correct opgenomen zijn in de ruimteplannen, worden deze vaak beschadigd bij grondwerken (Janse & Rensma, 2008; Lestrade-Brouwer, 2007).

Ondanks heel wat voordelen is de introductie van ondergrondse leidingen voor stukgoederen niet vanzelfsprekend. Dit is voornamelijk het gevolg van de hoge kostprijs en de lange afschrijvingstermijn van dergelijke systemen. Om het systeem rendabel te maken is daarnaast ook een grote hoeveelheid aan goederen nodig (Geerlings & van Ast, 2004; Raad voor verkeer en waterstaat, 1998).

## **Mogelijkheden van ondergronds goederentransport in Vlaanderen**

Op dit moment zijn steden aangewezen op vracht- en bestelwagens voor het vervoer van goederen. Door ondergrondse vervoerssystemen te implementeren, kan deze afhankelijkheid verminderd worden. Hierdoor kunnen verkeerscongestie en milieu- en sociaal gerelateerde problemen zoals geluidshinder en luchtvervuiling gereduceerd worden (Liu, 2004). Onderzoek van Egbunike en Potter (2011) wijst uit dat vrachtvervoer via pijpleidingen zorgt voor verbeterde betrouwbaarheid, verhoogde efficiëntie en een beter beheer van de vrachtbewegingen. Die voordelen zijn het gevolg van ongehinderde verplaatsingen in verzegelde transporteenheden, elektronische en geautomatiseerde controles en het feit dat deze systemen 24 uur per dag gebruikt kunnen worden.

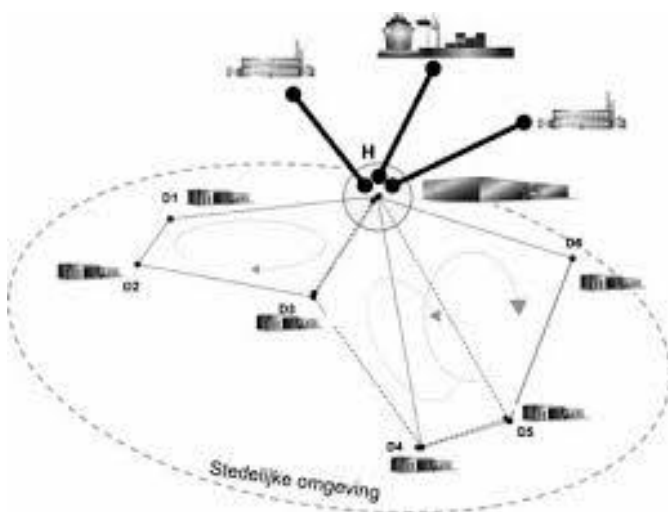
Ondergronds goederentransport is voor onderzoekers al jarenlang een mogelijke visie om vrachtverkeer op de wegen te verminderen. Voor gebieden die afhankelijk zijn van logistieke dienstverlening hangt de levensvatbaarheid hoofdzakelijk af van de verkeerssituatie. Deze situatie wordt voornamelijk beïnvloed door de toegankelijkheid van vervoersdiensten. Daarnaast stellen de consumenten steeds hogere eisen. In eerste instantie kan verwacht worden dat centraal gelegen gebieden, zoals Vlaanderen, over heel wat voordelen beschikken. Zo beschikken ze over een grote vraagmarkt, een dicht vervoersnetwerk, locaties voor intermodaal transport en een goede bereikbaarheid vanuit andere landen. Deze centrale ligging heeft echter ook nadelen. Voor interne transportverbindingen neemt de beschikbaarheid van transportroutes in de regio namelijk af. Door een toename van het intra-Europees transport worden de transportroutes steeds meer gebruikt voor transitverkeer. De noodzaak voor nieuwe systemen die de bestaande verkeersroutes zoveel mogelijk ontlasten is dan ook groot. Deze systemen moeten daarnaast ook milieuvriendelijk zijn en tot een duurzame verbetering van de verkeerssituatie leiden (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 2010).

In dit hoofdstuk wordt onderzocht wat de mogelijke toepassingen van ondergronds goederentransport in Vlaanderen zijn. Daarbij wordt in sectie 4.1 ondergrondse stedelijke distributie onderzocht. Vervolgens wordt in sectie 4.2 bekeken hoe haventoeepassingen ondergronds uitgevoerd kunnen worden in Vlaanderen. Omdat de haven van Antwerpen een belangrijke rol speelt in de Vlaamse logistieke sector, wordt bekeken wat de mogelijkheden zijn voor dit havengebied. Tot slot wordt in sectie 4.3 de haalbaarheid van ondergronds transport in Vlaanderen bekeken.

### ***4.1 Ondergrondse stedelijke distributie***

Uit onderzoek van het Instituut Samenleving & Technologie (2012) blijkt dat stedelijke distributie geschikt zou kunnen zijn voor ondergronds transport. Ondergrondse stedelijke distributie kan namelijk een goede oplossing zijn voor de huidige problematiek die heerst in grote steden. Zo kampen de (groot)steden met leveringsproblemen. Bij ondergrondse stedelijke distributie dient de verdeling of verzameling van goederen te gebeuren via een centraal distributiecentrum dat voor de bereikbaarheid best aan de rand van de stad gelegen

is. Het distributiecentrum dient namelijk gemakkelijk bereikbaar te zijn voor de klassieke transportmodaliteiten boot, trein en vrachtwagen. Vervolgens zullen vanuit dit centrale distributiecentrum verschillende afleverpunten in de stad bevoorraad worden aan de hand van een ondergronds transportsysteem dat werkt op basis van automatisch geleide voertuigen (AGV). Dit is gebaseerd op reeds bestaande systemen zoals pakjesautomaten met het grote verschil dat de pakketten ondergronds vervoerd zullen worden. Wanneer de goederen op deze afleverpunten aankomen, ontvangt de consument een melding. Zo kan de consument zelf bepalen wanneer hij of zij de levering ophaalt. Met behulp van een code kan de consument de goederen in ontvangst nemen. Op deze manier wordt de veiligheid verhoogd en de kans op diefstal verlaagd. Het voordeel van ondergrondse transportsystemen is dat 24 uur per dag en 7 dagen per week pakketjes geleverd kunnen worden (Instituut Samenleving & Technologie, 2012; Vreeswijk, 2015).



*Figuur 10 Stadsdistributie via centraal distributiecentrum buiten de stadskern (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).*

Ook kunnen retourzendingen via het ondergronds systeem gebeuren. Als de consument niet tevreden is met het bestelde goed, kan het worden teruggebracht naar het ondergrondse afhaalcentrum. Van hieruit wordt de retourzending teruggestuurd naar het distributiecentrum buiten de stad. Het ondergrondse systeem wordt zo op twee manieren gebruikt. Enerzijds voor het distribueren van goederen en anderzijds voor retourzendingen (Instituut Samenleving & Technologie, 2012; Vreeswijk, 2015).

De leefbaarheid van de stad en haar inwoners vormt het centrale uitgangspunt voor de invoer van ondergrondse stadsdistributie. In steden worden winkels op dit moment nog bovengronds beleverd vanuit een distributiecentrum gelegen aan de rand van de stad. Vrachtverkeer wordt echter steeds vaker verboden in grote steden. Hierdoor kan het systeem van ondergrondse stadsdistributie een noodzaak worden in de toekomst. De beleving van de stadsdistributiecentrums kan bovengronds blijven plaatsvinden, terwijl de bevoorrading van de winkels plaatsvindt via het netwerk van ondergrondse leidingen. Het ondergrondse netwerk maakt het mogelijk om goederen ongehinderd te distribueren. Op deze manier wordt de

leverbetrouwbaarheid verhoogd. De toepassing kan echter alleen voldoende rendabel zijn wanneer een voldoende grote hoeveelheid goederen geconsolideerd kan worden om de nodige schaalvoordelen te genereren (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

## **4.2 Haventoepassingen**

Het idee van ondergronds containertransport komt van Willy Winkelmanns, transporteconoom en emeritus professor aan de Universiteit Antwerpen. Volgens deze professor is de toekomst van het goederentransport terug te vinden onder de grond. Samen met de firma Denys heeft de gepensioneerde professor het concept "Underground Container Mover" uitgewerkt om containers ondergronds te verplaatsen. De aanleiding van het uitwerken van het UCM-concept is het gegeven dat bovengronds transport steeds zwaarder gaat doorwegen vanuit maatschappelijk oogpunt. Ook de wetgeving wordt steeds strenger en milieuhinder zoals geluid en fijn stof worden alsmaar meer gezien als belangrijke elementen in de huidige samenleving. Door gebruik te maken van ondergrondse transportsystemen kunnen deze externe factoren vermeden worden. Daarnaast gaat ondergronds transport gepaard met een lager energieverbruik en zou het continuïteit garanderen doordat het systeem weers- en fileonafhankelijk is, waardoor het systeem 24 uur per dag kan werken (Denys, 2020; Instituut Samenleving & Technologie, 2012).



*Figuur 11 Concepttekening Underground Container Mover (Denys, 2020).*



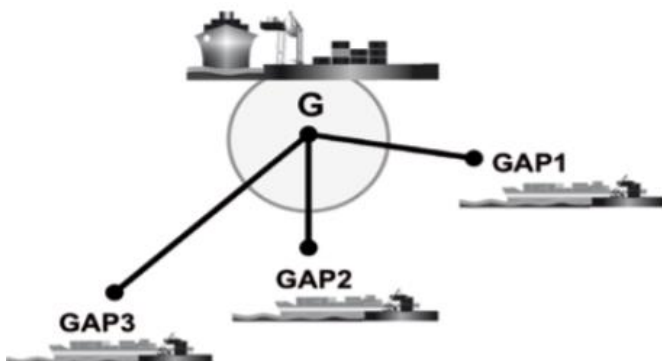
*Figuur 12 Concepttekening Underground Container Mover (Denys, 2020).*

In sectie 3.3.4.3 werd onderzocht wat de mogelijkheden zijn van Ongehinderde Logistieke Systemen in havengebieden. Daaruit bleek dat ondergronds goederentransport op drie mogelijke manieren toepasbaar is. Zo kan het gebruikt worden voor de herpositionering van containers binnen éénzelfde havengebied, kunnen verbindingen opgebouwd worden met het hinterland en kunnen corridors met andere havengebieden opgezet worden (Instituut Samenleving & Technologie, 2012). In deze sectie wordt bekeken hoe dit toegepast kan worden in Vlaanderen.

Allereerst kunnen Ongehinderde Logistieke Systemen toegepast worden om de problemen omtrent het herpositioneren van zeecontainers binnen grote containerhavens aan te pakken.

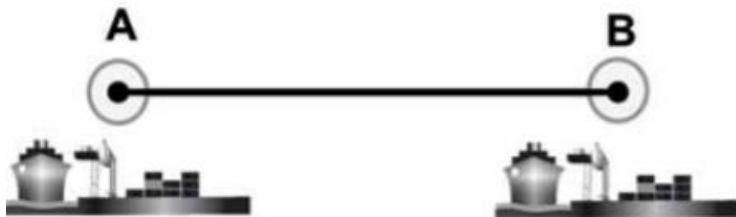
Dit is namelijk een probleem dat veel voorkomt in grote havens zoals de haven van Antwerpen. Op die manier zou een ondergronds systeem een oplossing kunnen bieden voor de congestie en het gefragmenteerde bovengrondse wegtransport in het havengebied. Het Underground Container Mover-systeem dat werd uitgelegd in sectie 3.3.4.3 zou aanvullend kunnen opereren met het spoor- en binnenvaartvervoer. Voor de Antwerpse haven verloopt dat op dit moment via de Liefkenshoekspoortunnel en een binnenvaartschip voor het verplaatsen van zeecontainers in het havengebied zelf. Het herpositioneren van containers op een vlotte, betrouwbare en veilige manier via een ondergronds systeem, zou een alternatieve oplossing kunnen zijn. Echter is een haven een risicovolle omgeving omwille van de aanwezigheid van chemische en petrochemische bedrijven. Hiermee dient dan ook rekening gehouden te worden om het risico op ongevallen te vermijden. Het UCM-systeem, dat ontworpen werd door Denys en Winkelmans zou op basis van haar capaciteit binnen de Haven van Antwerpen 5.555 containers ondergronds kunnen herpositioneren. Daardoor zouden dagelijks meer dan 5.000 vrachtwagens van de weg gehaald kunnen worden in het Antwerpse havengebied (Denys, 2020; Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

Vervolgens kunnen Ondergrondse Logistieke Systemen ook focussen op het ontsluiten van havens via een instappunt in het hinterland. Zoals in figuur 13 valt te zien, is het de bedoeling om het havengebied te ontlasten door ondergrondse verbindingen te voorzien met terminals buiten het havengebied. Containers zullen dan via deze verbindingen vervoerd worden naar de terminals. Vervolgens kunnen binnenvaartschepen daar aanmeren om via de binnenwateren de containers verder te distribueren. Hierdoor zal een groot aantal schepen uit het havengebied geweerd worden. Dit is een verdere uitwerking van het Ondergrond Container Mover-concept. Zo wordt bij dit systeem het Ondergrondse Logistieke Systeem verder doorgetrokken naar het achterland van de haven. Met behulp van een shuttle kunnen dan op een frequent en klokvast tijdstip zeecontainers aan- en afgevoerd worden tussen de overslagpunten in het achterland en de terminals in de haven. Deze ongehinderde verbinding kan zo een belangrijk aanvullend transportmiddel zijn voor de traditionele bovengrondse vervoerswijzen (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).



*Figuur 13 Havenontsluiting via instappunten in het hinterland (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).*

Tot slot kan het Underground Container Mover-concept toegepast worden om verschillende havengebieden met elkaar te verbinden over een lange afstand. Het opzetten van dit soort corridors heeft als doel om grote havens met elkaar te verbinden en op die manier het potentieel van beide havens uit te breiden. Voor Vlaanderen zou het bijvoorbeeld mogelijk zijn om de haven van Antwerpen te verbinden met de haven van Rotterdam. Het systeem kan beschouwd worden als een verdere uitbreiding van de vorige twee toepassingen. Zo is het de bedoeling van deze toepassing om containers te herpositioneren tussen verschillende havens (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).



*Figuur 14 Verbinding van havens via corridors (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).*

Het grote verschil tussen deze toepassing en havenontsluiting of herpositionering binnen het havengebied is de veel grotere afstand die overbrugd moet worden. Daarom zijn zeer grote volumes nodig over een langere periode om de zeer hoge investeringskosten van corridors tussen verschillende havens terug te verdienen. Om dit mogelijk te maken is een goede samenwerking en een gemeenschappelijke logistieke strategie nodig tussen België en Nederland (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

Op dit moment gebeurt het herpositioneren van containers hoofdzakelijk via weg, spoor en binnenvaart. Om aan de verwachte groeivoorzichten van de Vlaamse en Nederlandse havens te kunnen voldoen, is bijkomende alternatieve capaciteit noodzakelijk. Zo is duidelijk dat het verbinden van havens over een lange afstand via corridors een oplossing zou zijn. Echter wordt deze toepassing omwille van haar hoge investeringskost en noodzaak aan zeer grote volumes als minder kansrijk gezien (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

### **4.3 Haalbaarheidsanalyse**

In sectie 4.1 en sectie 4.2 werden mogelijke toepassingen van ondergronds transport in Vlaanderen besproken. Uit onderzoek blijkt dat ondergrondse stedelijke distributiesystemen en transportsystemen voor het herpositioneren en/of ontsluiten van containers in de omgeving van havens de meeste kans maken om gerealiseerd te worden. Deze systemen zijn het meest kansrijk omwille van de verbeteringen die ze mogelijk maken binnen de Vlaamse logistieke sector. Om deze systemen succesvol te kunnen implementeren, is een stapsgewijze implementatie noodzakelijk. Zo is het belangrijk dat eerst een pilootproject wordt opgestart om een breder draagvlak te creëren. Door middel van zo'n pilootproject moet het mogelijk worden om zowel publieke als private ondernemingen van het Ongehinderd Logistieke Systeem te overtuigen. Door samenwerking kunnen zowel de kosten als de baten gedeeld worden. Dit is noodzakelijk omdat dergelijke systemen een groot volume vereisen om rendabel te zijn (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).



De kans op implementatie wordt beïnvloed door drie elementen. Dat zijn de behoefte, het product en het proces. Zo moet eerst en vooral een maatschappelijk of logistieke meerwaarde gecreëerd kunnen worden door het systeem. Daarbij is het realiseren van grote volumes een kritische succesfactor. Hierbij is het bundelen van goederenstroom essentieel om grote volumes te creëren. Vervolgens dient het nieuwe product innovatief en aantrekkelijk te zijn. In het geval van een Ongehinderd Logistiek Systeem is het daarbij belangrijk dat het systeem kan aansluiten op de bestaande transportsystemen en dit kan aangetoond worden door middel van demonstraties. Tot slot moeten de voorbereiding en de realisatie van het project gestroomlijnd worden door een projectmanager (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

Technologische, politieke en planologische uitdagingen zorgen echter voor moeilijkheden in het implementatieproces van ondergronds vrachtvervoer (Cui & Nelson, 2019). Het vinden van vrije ruimtes voor het aanleggen van tunnels of buizen wordt namelijk steeds moeilijker. Zo kan het voorkomen dat de geschikte ondergrondse ruimte al is ingenomen door ondergrondse faciliteiten of door ondiepe ondergrondse nutsvoorzieningen (Visser, 2018). Bovendien is door Egbunike en Potter (2011) aangetoond dat het gebrek aan belangstelling van beleidsmakers, de implementatie van ondergronds vrachtvervoer belemmert. Daardoor stelt zich de vraag of vrachtpijpleidingen een aanvaardbaar en vooral een haalbaar alternatief zijn voor traditionele vrachtvervoersystemen zoals wegvervoer (Cui & Nelson, 2019).

Naast technische moeilijkheden omtrent de beschikbaarheid van grond en een gebrek aan interesse bij beleidsmakers is ook de hoge kostprijs vaak een struikelblok. Zo zouden de kosten voor een UCM-systeem in de haven van Antwerpen worden geschat op 300 tot 350 miljoen euro, zonder financiering- en onderhoudskosten. Om de investering van het systeem terug te verdienen, zijn daarom aanzienlijk grote volumes noodzakelijk. Om hoge volumes te behalen is het vaak noodzakelijk dat verschillende partijen de krachten bundelen. Dat is ook een factor die de uiteindelijke implementatie bemoeilijkt (Instituut Samenleving & Technologie, 2012).

## **Hyperloops als alternatief voor ondergronds goederentransport**

In de literatuur valt duidelijk op te merken dat de laatste jaren minder aandacht wordt besteed aan onderzoek naar ondergronds goederentransport. Door een hoge investeringskost en beperkingen omtrent de aanleg van ondergrondse verbindingen, lijken de voordelen van ondergronds goederentransport niet op te wegen tegen de kosten en de praktische haalbaarheid (Instituut Samenleving & Technologie, 2012). Daardoor zijn onderzoekers op zoek gegaan naar andere methoden om de vier traditionele vervoersmodi uit te dagen en de vervoerscapaciteit verder uit te breiden. Op het eerste zicht lijken hyperloops eveneens een oplossing te kunnen bieden op de uitdagingen die zich momenteel aanbieden in de Vlaamse logistieke sector.

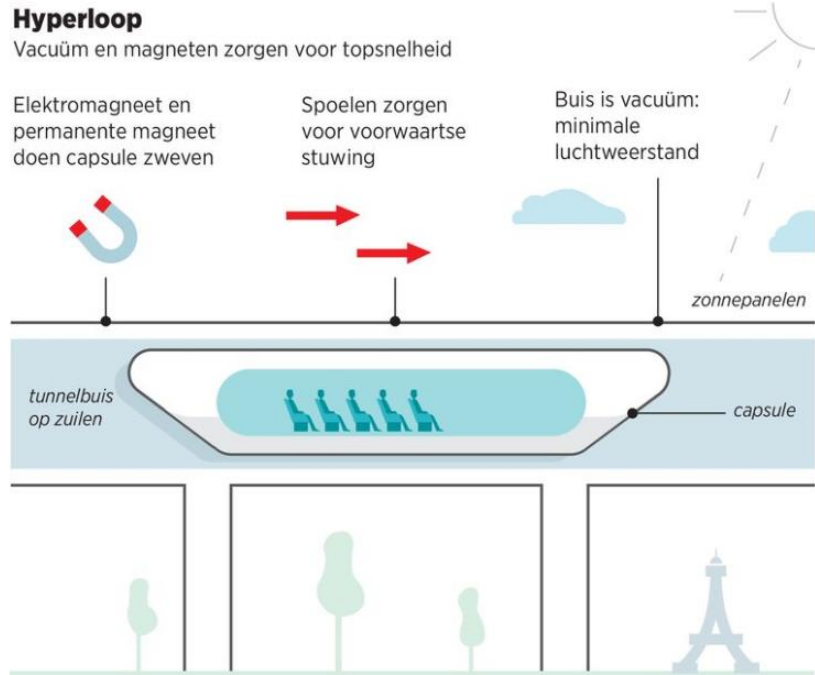
In dit hoofdstuk van de masterproef wordt daarom onderzocht in welke mate hyperloops een alternatief kunnen bieden voor ondergronds goederentransport. Om dit te onderzoeken wordt in eerste instantie het concept hyperloops grondig onderzocht. Vervolgens worden de voordelen van hyperloops besproken. Daarnaast worden ook de uitdagingen en tekortkomingen van hyperloops in kaart gebracht. Verder worden hyperloops vergeleken met andere transportmodi. Tot slot wordt onderzocht hoe en op welke termijn deze transportmodus geïmplementeerd kan worden.

### ***5.1 Het concept hyperloop***

Hyperloops worden gezien als een innovatief transportmiddel dat personen en goederen kan vervoeren. Daardoor wordt de Hyperloop ook gezien als de vijfde transportmodus, naast waterwegen, lucht-, weg- en spoorvervoer. Het transportmiddel maakt gebruik van zogenaamde capsules of pods die getransporteerd worden doorheen een vacuümbuizenstelsel. Het idee van een hyperloop bestaat eigenlijk al jaren. Sinds de uitvinding van de vacuümpomp in de zeventiende eeuw wordt volop nagedacht over hoe dit toegepast kan worden op een transportsysteem (de Jong, 2018; Doppelbauer, 2018; Travel magazine, 2020).

Het idee kwam in 2013 opnieuw naar voren toen de Zuid-Afrikaanse ondernemer Elon Musk, oprichter van onder andere Paypal, SpaceX en Tesla, onder de naam "Hyperloop" het concept presenteerde als nieuw transportmiddel. Een hyperloop maakt gebruik van buizen die bijna vacuüm zijn. De luchtweerstand in deze buizen kan verkleind worden tot ongeveer 0,1 procent van de luchtweerstand die wij normaal kennen. De bijna-vacuümbuizen omsluiten een magneetweefbaan waarin voertuigen, de zogenaamde capsules of pods, kunnen reizen aan snelheden van ongeveer 1.200 kilometer per uur. Deze hoge snelheid kan behaald worden door de combinatie van bijna-vacuümbuizen en de magneetweefbaan. De aandrijving wordt voorzien door een elektrische, lineaire motor waarvan de hyperloop zelf de stroom opwekt door middel van zonnepanelen. Zo is de Hyperloop bijgevolg een energieneutraal transportmiddel (de Jong, 2018; Doppelbauer, 2018; Travel magazine, 2020).

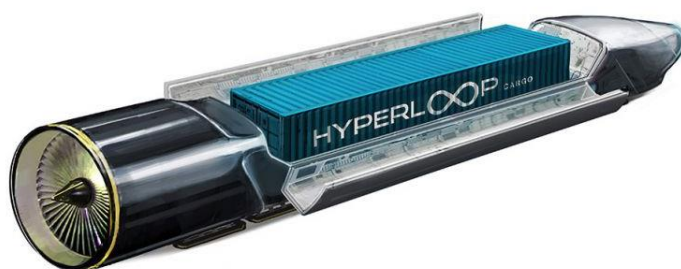
In figuur 15 wordt een grafische weergave getoond van hoe het concept "Hyperloop" werkt.



Figuur 15 Concepttekening Hyperloop (Jak, 2019).

### 5.1.1 Technische werking van hyperloops

De Hyperloop zal gebruikmaken van pods die doorheen luchtdichte buizen met een doorsnede van vijf meter personen en goederen transporteren. De omvang van de buizen wordt relatief klein gehouden, waardoor de beschikbare ruimte in een pod beperkt is. Hierdoor wordt de capaciteit van een hyperloop-voertuig geschat op vijftientig tot maximaal veertig personen voor personenvervoer (Doppelbauer, 2018). Voor goederentransport is het mogelijk om 12.000 kilogram te transporteren (Werner, EiBing, & Langton, 2016). In figuur 16 is te zien hoe een volledige zeecontainer met goederen vervoerd kan worden in een hyperloop.



Figuur 16 Transport van een zeecontainer door middel van een hyperloop (Van Dooren, 2018).

Omdat de ruimte tussen de pods en de binnenwanden van de constructie geminimaliseerd wordt, is het belangrijk dat maatregelen genomen worden om botsingen tussen de capsule en de infrastructuur te vermijden. Zeker bij een snelheid van 1.200 kilometer per uur is het belangrijk om botsingen te vermijden. Hierdoor worden de voertuigen beperkt op vlak van grootte, gewicht, energie en besturing. Ook dienen bochten en hellingen zoveel mogelijk vermeden te worden waardoor de flexibiliteit van de route beperkt wordt. Daarnaast is het belangrijk dat de voertuigen op een gecontroleerde manier tot stilstand kunnen komen. Dit is

voornamelijk belangrijk om botsingen te vermijden wanneer pods omwille van onvoorziene omstandigheden vast zouden komen te zitten. Verder is het ook noodzakelijk dat de pods over een noodvoorziening met energie en lucht beschikken, ondanks dat ze luchtdicht moeten zijn. Ten slotte dient ook een toegang tot de inzittenden te worden voorzien om deze personen te kunnen bereiken in noodsituaties (Doppelbauer, 2018).

De tijdspanne tussen opeenvolgende pods wordt bepaald door het remvermogen en het veiligheidssysteem van de Hyperloop. Aangezien niet uitgesloten kan worden dat Hyperloop-voertuigen onverwachts tot stilstand komen in de buizen, dienen de volgende capsules op een veilige manier afgeremd te kunnen worden. Verschillende onderzoeken wijzen uit dat een tijdsafstand van 2 minuten tussen opeenvolgende Hyperloop-voertuigen die in dezelfde richting rijden voldoende zou moeten zijn (Doppelbauer, 2018).

## **5.2 De voordelen van hyperloops in functie van logistieke uitdagingen**

Het innovatieve transportmiddel geniet van verschillende voordelen. Het eerste voordeel is de snelheid die behaald wordt waardoor mensen en goederen langere afstanden kunnen afleggen in een bepaalde tijdspanne. Hierdoor wordt de wereld als het ware kleiner. Een voorbeeld van een traject is de reis van Amsterdam naar Parijs. Deze verplaatsing zou met de trein een duurtijd hebben van 3 uur en 20 minuten, terwijl de reis met de Hyperloop nog maar 38 minuten in beslag zal nemen. Bovendien levert de hyperloop ook een bijdrage aan de verduurzaming van de mobiliteit omdat het vervoersmiddel in staat is zelf energie op te wekken door middel van zonnepanelen. Daarnaast zouden hyperloops ook weinig geluidsoverlast met zich meebrengen. Dit komt doordat de hyperloop in de constructie zweeft waardoor geen wrijving ontstaat tussen de pods en de binnenwanden. Een volgend voordeel is dat de aanleg van een traject relatief eenvoudig is. Verder ondervindt het transportmiddel weinig invloed van weersomstandigheden en andere externe factoren. Hierdoor worden hyperloops aanzien als een betrouwbaar transportmiddel (de Jong, 2018).

Tot slot zouden de bouwkosten van een hyperloopnetwerk minder duur zijn dan bij hogesnelheidstreinen (Jak, 2019). Zo kost de aanleg van een hyperloopverbinding 17 miljoen dollar per mijl, terwijl de aanleg van een hogesnelheidsnetwerk 43 miljoen dollar per mijl kost (Taylor, Hyde, & Barr, 2016). Ook de onderhoudskosten van gesloten buizen zouden een stuk lager liggen dan het onderhoud van treinsporen. Dit valt, zoals eerder vermeld werd, te wijten aan het gegeven dat hyperloops weinig invloed van het weer ondervinden (Jak, 2019).

## **5.3 De uitdagingen voor hyperloops**

De geografische ligging, de positie en de lengte van de buizen kunnen niet gemakkelijk aangepast worden. Omwille van deze redenen volgt de Hyperloop een strikt traject van punt A naar punt B. Daarnaast wordt het traject van de capsules ingesloten in een buis, waardoor complexe systemen voor een normale werking noodzakelijk zijn. Zo moeten de buizen van de Hyperloop luchtdicht zijn waardoor systemen moeten voorzien worden zodat passagiers over

voldoende zuurstof beschikken. Ook dient rekening gehouden te worden met toegangspoorten tot de inzittenden en de pods om deze te kunnen bereiken in noodsituaties. Verder kunnen gevaarlijke situaties optreden wanneer de pods aan een snelheid van 1.200 kilometer per uur een helling omhooggaan of doorheen een bocht passeren. Omwille van deze gevaarlijke situatie dienen smalle bochten en steile hellingen zoveel mogelijk vermeden te worden (Doppelbauer, 2018)



*Figuur 17 Beperkte flexibiliteit bij hyperloopverbindingen (Doppelbauer, 2018).*

De grootste uitdaging van de Hyperloop is om over te gaan van een innovatief idee naar een productierijpe transportmodus. Wanneer men kijkt naar de ontwikkelingsfase van hogesnelheidstreinen of de maglev-trein<sup>1</sup> kan de ontwikkelingsduur geschat worden op ten minste twintig jaar. Dat zou betekenen dat het eerste commercieel gebruik van de Hyperloop in 2033 verwacht kan worden. Een tweede moeilijkheid vormt het risicoprofiel en de lange financieringsperiode die voorafgaat aan het verwachte rendement, wat doet vermoeden dat dit potentiële investeerders zal ontmoedigen. Daarnaast is het niet mogelijk om aan te vangen in kleinere fases en zo het risico te beperken omwille van de typische eigenschappen van de Hyperloop (Doppelbauer, 2018).

Verder moeten ook nog heel wat technische uitdagingen overwonnen worden. De testprojecten die reeds uitgevoerd zijn, hebben nog niet de gewenste parameters behaald. De maximumsnelheid die op een testbaan van bijna 2 kilometer lang bereikt werd, bedroeg 323 kilometer per uur. Dit ligt nog ver af van de beoogde snelheid van 1.200 kilometer per uur. Dit valt te wijten aan het feit dat het aandrijfsysteem dat hiervoor noodzakelijk is nog niet aan juiste technologische vereisten voldoet. Daarnaast is het ook niet mogelijk om dergelijke hoge snelheden te halen op dit kort traject omdat voldoende tijd nodig is om op een veilige manier te accelereren en af te remmen. Een serieuzere uitdaging blijkt echter het veilig afvoeren van de remenergie tijdens het tot stilstand brengen van de pods. Ook wordt het potentiële laadvermogen gereduceerd doordat de verschillende aanvoersystemen voor noodsituaties een bepaalde energie en gewicht nodig hebben. Daarnaast zullen de beperkte mogelijkheden voor vertakkingen en tussenstations het moeilijk maken om te reageren op verandering in de vraag naar bepaalde reisverbindingen. Het bus- en luchtverkeer is ten opzichte van de Hyperloop veel flexibeler op dat vlak en kan zich gemakkelijk aan verandering aanpassen (Doppelbauer, 2018).

---

<sup>1</sup> De maglev-trein is een magneet zweeftrein die 10 tot 20 millimeter boven het spoor zweeft en gebruik maakt van een voortstuwingsmethode op basis van magnetische levitatie in plaats van wielen, assen en lagers (Liu, Long, & Li, 2015).

Tot slot zal de Hyperloop voor het transporteren van passagiers, net zoals alle andere vervoerssystemen, een toelating van de overheid moeten krijgen. Daarvoor zullen bijgevolg vergunningsprocedures ontwikkeld moeten worden. Dit kan enige tijd in beslag nemen waardoor een effectieve realisatie opgehouden kan worden (Doppelbauer, 2018).

In de praktijk dient een onderscheid gemaakt te worden tussen twee mogelijke toepassingen van de Hyperloop. De eerste toepassing wordt aangeduid onder de term "green field" toepassingen. Dit zijn toepassingen waar voorheen geen snelle massatransportmiddelen voor bestonden. De tweede toepassing wordt "brown field" genoemd en zijn toepassingen waarbij complementaire en bestaande transportmiddelen vervangen kunnen worden door de Hyperloop. Zowel bij green field als bij brown field toepassingen zouden tussenstops en aftakkingen op het traject van de Hyperloop moeilijk realiseerbaar zijn (Doppelbauer, 2018).

Een stapsgewijze invoering van de Hyperloop zou om deze redenen dan ook niet aantrekkelijk zijn. Bovendien zou deze aanpak ook te lijden hebben onder het gegeven dat de Hyperloop over kortere afstanden geen significante voordelen met zich meebrengt, zoals later aangetoond wordt in tabel 1 van sectie 5.4. Wanneer in een brown field situatie een gedeelte van het traject van een hogesnelheidstrein door de Hyperloop vervangen wordt, brengt dit enkele gevolgen met zich mee. Dat zou eerst en vooral betekenen dat reizigers van de trein naar de Hyperloop en terug zouden moeten overstappen. Daarnaast zouden voor het vervoeren van de duizend passagiers van één hogesnelheidstrein vijftientig pods nodig zijn en zou de wachttijd oplopen tot 50 minuten. Daarnaast zou omwille van de ruimtebeperkingen in de Hyperloop ook enkel handbagage toegelaten kunnen worden. Andere bagage zoals bijvoorbeeld reiskoffers zouden, net zoals bij vluchten, in een apart gedeelte van het voertuig opgeborgen moeten worden. Dit zou een extra handeling door personeelsleden vereisen, wat bijgevolg gepaard gaat met extra tijdsverlies (Doppelbauer, 2018; Walker, 2018).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de Hyperloop zowel voor- als nadelen met zich meebrengt. De grootste pijnpunten van deze transportmodus zijn de relatief lage vervoerscapaciteit en het probleem dat het aanleggen van netwerken en de integratie met andere vervoersmiddelen niet interessant is. De focus zal daardoor eerder liggen op het aanleggen van geïsoleerde verbindingen tussen twee punten (Doppelbauer, 2018).

#### **5.4 Hyperloops in vergelijking tot andere transportmodi**

In publicaties worden hyperloops vaak aangeduid als transportmiddel voor kortere afstanden van ongeveer 50 kilometer. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het verbinden van twee luchthavens die op tientallen kilometers van elkaar gelegen zijn. In tabel 1 wordt zo'n voorbeeld uitgewerkt voor de verbinding van twee luchthavens. In het voorbeeld wordt de Hyperloop vergeleken met een klassieke trein, een people-mover<sup>2</sup> en een Maglev systeem

---

<sup>2</sup> Een people-mover is een volledig geautomatiseerd massatransportsysteem dat voortbeweegt aan de hand van een monorail (Deep & Agrawal, 2014).

zoals de Transrapid<sup>3</sup> voor een afstand van 50 kilometer. De systemen worden vergeleken op basis van tijd (inclusief laden en lossen), capaciteit, aantal treinen of pods, kostprijsindicatie en comfort (Doppelbauer, 2018).

*Tabel 1 Reistijd en capaciteit (aantal passagiers per uur) voor een traject van punt A naar punt B over een afstand van vijftig kilometer (bijvoorbeeld luchthaven X – luchthaven Y) voor verschillende vervoersmiddelen (Doppelbauer, 2018).*

	<b>Tijdsduur</b> (in minuten)	<b>Capaciteit</b> (Aantal passagiers per richting en uur)	<b>Aantal treinen / pods</b>	<b>Kostprijs-indicatie</b>	<b>Comfort</b>
<b>Hyperloop</b> (1 200 km/u)	14.7	1.200 (40 pax/pod)	24	?	?
<b>Klassieke trein</b> (200 km/u)	20.9	40.000 (1.000 pax/trein)	26	+	++
<b>People-mover</b> (90 km/u)	36.2	35.000 (900 pax/trein)	72	+	+
<b>Maglev</b> (500 km/u)	12.3	20.000 (500 pax/trein)	14	--	++

In het voorbeeld valt te zien dat hyperloops geen significante voordelen behalen in reistijd voor trajecten over een relatief korte afstand van vijftig kilometer. Het grootste probleem blijkt te liggen in de capaciteit. Wanneer pods in 2 minuten volgeladen doorheen de buis getransporteerd worden, wordt slechts een deel van de prestaties van de klassieke trein of van de Maglev gehaald (Doppelbauer, 2018).

Daarom werd ook reeds onderzoek gedaan naar het gebruik van hyperloops voor een langere afstand van 500 kilometer. Deze afstand komt ongeveer overeen met het traject Los Angeles - San Francisco, Amsterdam – Parijs of Stockholm – Helsinki. In tabel 2 wordt de Hyperloop opnieuw vergeleken met dezelfde transportmiddelen als in het eerste voorbeeld voor een afstand van 500 kilometer. In deze vergelijking wordt aangenomen dat de stations van de Hyperloop en Maglev dichtbij het stadscentrum gebouwd zijn, net zoals bij het klassieke treinvervoer (Doppelbauer, 2018).

<sup>3</sup> De Transrapid is een magneet zweeftrein ontworpen door Siemens die voortbeweegt op basis van magnetische levitatie (van den Brink, Nijland, & van Wee, 2001).

Tabel 2 Intercity verbinding over een afstand van vijfhonderd kilometer (bijvoorbeeld Amsterdam – Parijs) voor verschillende vervoersmiddelen (Doppelbauer, 2018).

	<b>Tijdsduur</b> (in minuten)	<b>Capaciteit</b> (Aantal vertrekkende passagiers per richting en uur)	<b>Aantal treinen / pods</b> (Beide richtingen)	<b>Kostprijs- indicatie</b>	<b>Comfort</b>
<b>Hyperloop</b> (1 200 km/u)	37.2	1.200 (40 pax/pod)	46	?	?
<b>Hogesnelheid strein</b> (300 km/u)	107	40.000 (1.000 pax/trein)	140	+	++
<b>Maglev</b> (500 km/u)	66.3	20.000 (500 pax/trein)	88	--	++

In dit voorbeeld valt een significante tijdsbesparing op te merken met de Hyperloop. Daardoor kunnen passagiers zich veel sneller verplaatsen met de hyperloop dan met de hogesnelheidstrein.

Doordat hogesnelheidstreinen in de praktijk in 3 minuten na elkaar kunnen rijden en over een grotere capaciteit beschikken, heeft dit vervoersmiddel op vlak van capaciteit wel een groot voordeel. Hierdoor blijft het maximumaantal van veertig passagiers per pod en een minimale tijdsafstand van 2 minuten tussen opeenvolgende capsules toch een fundamenteel probleem voor de Hyperloop (Doppelbauer, 2018).

### **5.5 De realisatie van hyperloops**

Op basis van onderzoek van Doppelbauer (2018) kan geconcludeerd worden dat de Hyperloop op het moment nog kampt met een aantal uitdagingen. Zo heeft het transportsysteem enerzijds nog een aantal technische en procesmatige uitdagingen, anderzijds heeft het vervoerssysteem te kampen met een aantal systeemgebonden nadelen. Zoals besproken werd in sectie 5.3, moet daarom rekening gehouden worden met een ontwikkelingsduur van minstens twintig jaar. Voor de Hyperloop zou dat een realisatie betekenen in 2033. In het algemeen heeft iedere succesvolle innovatie een positieve feedbackloop nodig. Op dit moment is de Hyperloop nog ver verwijderd van zo'n positieve feedbackloop. Dit heeft te maken met het gegeven dat het systeem nog niet stabiel is. Sleutelementen zoals het tot stilstand komen van de pods bij hoge snelheden zijn nog niet getest, maar ook kostenramingen kennen nog geen degelijke onderbouwing.

Verder zijn langere testbanen met een minimumlengte van 50 kilometer noodzakelijk om de gestreefde snelheid te kunnen behalen. Daarenboven levert de Hyperloop in termen van reistijd geen voordelen op over korte afstanden van 50 tot 100 kilometer omwille van een



lagere capaciteit dan reeds bestaande vervoerssystemen. Ook het aanleggen van tussenstops en aftakkingen op het traject zijn moeilijk realiseerbaar. Deze gebreken zullen een nadeel opleveren voor de Hyperloop op middellange afstanden tot ongeveer 500 kilometer, met name daar waar reeds spoorlijnen aanwezig zijn. Op trajecten die langer zijn dan 500 kilometer kunnen ondanks de significante tijdsbesparing die behaald worden, de hoge vaste kosten in combinatie met het gebrek aan flexibiliteit een struikelblok zijn voor investering en de effectieve realisatie van het concept (Doppelbauer, 2018).

Momenteel zit het concept volop in de testfase en worden de mogelijkheden, beperkingen en technische haalbaarheid van de Hyperloop verder onderzocht (Doppelbauer, 2018).

### **5.5.1 Testfase**

Sinds Elon Musk het concept van de hyperloop in 2013 presenteerde, wordt het concept steeds verder verbeterd en worden ook heel wat testprojecten uitgevoerd. Zo zijn verschillende bedrijven en startups, naast Tesla en SpaceX, bezig met de ontwikkeling van het innovatieve transportmiddel. Doordat de Hyperloop een nieuw concept is, dienen nog veel testen uitgevoerd te worden. Ondertussen zijn in verschillende landen reeds testcircuits aangelegd waarop testen met de Hyperloop uitgevoerd worden. Zo werd ook op de TU Delft in Nederland een dertig meter lange tunnel aangelegd. In deze lange tunnel kunnen testen verricht worden zoals het laten zweven en het laten voortbewegen van de pods. De aangelegde tunnel van dertig meter is echter te kort om de capsules met een hoge snelheid te verplaatsen. Omwille van die reden hebben het Nederlandse bedrijf Hardt en het Amerikaanse bedrijf Hyperloop op politiek niveau aangekaart dat ze opzoek zijn naar een locatie om het concept van de Hyperloop verder te onderzoeken. Zo zijn ze opzoek naar een locatie om een testtraject van 15 kilometer te bouwen. Dit om de pods ook op hoge snelheid te kunnen testen, om testen uit te voeren met bochten en wissels en om de veiligheid te controleren. De werkelijke veiligheid kan echter pas volledig getest worden in een hyperloopnetwerk (de Jong, 2018).

### **5.5.2 Voorstellen van mogelijke hyperloop netwerken wereldwijd**

Op het moment voeren naast Nederland ook verschillende andere landen zoals de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, India, Saoedi-Arabië, Rusland, Zweden en China haalbaarheidsstudies uit omtrent de implementatie van Hyperloops (Walker, 2018). In tabel 3 worden op basis daarvan enkele mogelijke trajecten voorgesteld (Hyperloop One, 2019). Voor al deze trajecten wordt de afstand in kilometer weergegeven, samen met de tijdspanne die de Hyperloop nodig heeft om het traject af te leggen.

Tabel 3 Voorstellen van Hyperloop netwerken die wereldwijd steden en regio's met elkaar verbinden (Hyperloop One, 2019).

<b>Traject</b>	<b>Afstand (in kilometer)</b>	<b>Tijdsduur (in minuten)</b>
Los Angeles – San Francisco	560	30
Amsterdam – Parijs	430	34
Madrid – Tangier	549	42
Berlijn – Hamburg	255	22
Londen – Edinburgh	534	41
Stockholm – Helsinki	400	22
Abu Dhabi – Dubai	105	12
Montreal – Toronto	503	39
Orlando – Miami	329	27
Chicago – Pittsburgh	660	49
Shanghai – Hangzhou	161	16



## **Conclusie**

Deze masterthesis vormt een antwoord op de onderzoeksvraag: "Op welke manier kan ondergronds goederentransport een oplossing bieden voor de maatschappelijke en operationele uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector?" De belangrijkste uitdagingen van de Vlaamse logistieke sector zijn volgens dit onderzoek: personeelstekort, congestie, milieuvervuiling en verkeersonveiligheid. Uit de literatuur is gebleken dat ondergronds goederentransport enkele mogelijke oplossingen biedt.

Allereerst kan ondergronds goederentransport gedeeltelijk een oplossing bieden op het personeelstekort. Zo is het personeelstekort grotendeels te wijten aan een stijging in de vraag naar wegvervoer. Door een switch te maken van traditioneel wegvervoer naar geautomatiseerd ondergronds transport zal de vraag naar personeel dalen waardoor het evenwicht op de arbeidsmarkt zich zal herstellen. Ondanks dat dit niet alle problemen zal oplossen die aan de basis liggen van het personeelstekort zal dit de mismatch op de arbeidsmarkt reduceren.

Verder is het ook mogelijk om de congestie op de wegen te reduceren. Door ondergrondse vervoerssystemen wordt de vervoerscapaciteit verhoogd en worden het aantal transporten via de weg gereduceerd. Daarnaast is het mogelijk om vooral congestiegevoelige gebieden zoals steden te ontzien van vrachtverkeer. Zo kunnen traditionele vervoersmodi gebruikt worden om centrale distributiecentra aan de rand van de steden te bevoorraden en kan de verdere stadsdistributie ondergronds verlopen. Naast vrachtvervoer in de steden kan ook in de haven van Antwerpen en op haar toegangswegen het vrachtverkeer gereduceerd worden. Door middel van een Underground Container Mover-systeem zou het mogelijk zijn om enerzijds verplaatsingen van containers binnen het havengebied en anderzijds ontsluiting van het havengebied mogelijk te maken. Dat is mogelijk door instappunten te voorzien in het hinterland en containers vervolgens ondergronds te vervoeren naar het havengebied. Daarnaast kunnen ook de emissies mogelijks verlaagd worden door ondergrondse systemen. Enerzijds als gevolg van een afname van de files en anderzijds door de elektrische aandrijving van de Ongehinderde Logistieke Systemen. Bovendien wordt ook de geluidshinder gereduceerd.

Tot slot is ondergronds transport ook positief voor de verkeersveiligheid. Doordat ondergrondse systemen exclusieve verbindingen hebben, zijn ongelukken met andere transportmodi en automobilisten uitgesloten. Daarnaast bewegen de voertuigen zich volledig geautomatiseerd voort waardoor letselongevallen bijna volledig vermeden kunnen worden.

Ondanks dat ondergronds transport de logistieke sector op veel manieren positief kan beïnvloeden, lijkt een effectieve realisatie onwaarschijnlijk door de hoge kostprijs. Daardoor hebben hyperloops, die in vele opzichten dezelfde voordelen bieden een grotere kans op slagen. Bij dit concept zal de testfase echter nog heel wat tijd innemen, waardoor het vooral op lange termijn een oplossing biedt.



## **Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek**

Door middel van een literatuurstudie werd in dit onderzoek onderzocht op welke mogelijke manieren ondergronds goederentransport een oplossing biedt op de operationele en maatschappelijke problemen van de Vlaamse Logistieke sector. Hieruit is gebleken dat ondergronds goederentransport op verschillende manieren oplossingen kan bieden.

Door een gebrek aan kwantitatief onderzoek in de literatuur is dit onderzoek voornamelijk opgebouwd uit kwalitatieve gegevens. Zo is in de literatuur voornamelijk gefocust op de werking van logistieke systemen en mogelijke toepassingen. Daarbij zijn voor- en nadelen in kaart gebracht maar zijn weinig cijfermatige gegevens voorzien. Daardoor is het vaak niet mogelijk geweest om de mogelijkheden en voordelen van ondergronds goederentransport cijfermatig weer te geven. Zo is in de literatuur bijvoorbeeld vaak terug te vinden dat ondergrondse systemen congestie kunnen reduceren maar wordt daarbij niet uitgedrukt in welke hoeveelheden het verkeer gereduceerd kan worden. Daarnaast is de laatste jaren minder aandacht besteed aan onderzoek naar ondergronds goederentransport waardoor veel literatuur reeds gedateerd is en aan relevantie heeft verloren. Bijgevolg is het aanbod aan relevante en kwalitatieve literatuur beperkt.

Voor verder onderzoek beveel ik daarom aan om de mogelijkheden van ondergronds goederentransport cijfermatig in kaart te brengen op basis van recente verkeersmodellen. Daarbij zou het interessant zijn om de voordelen te formuleren vanuit het oogpunt van de logistieke sector en te focussen op kostenvoordelen. Daarnaast is uit dit onderzoek gebleken dat grote volumes noodzakelijk zijn om ondergronds transport financieel aantrekkelijk te maken. Ik beveel daarom ook aan om onderzoek te verrichten naar een verkoopmodel voor ondergronds goederentransport. Daarbij zou bijvoorbeeld één overkoepelend orgaan de capaciteit van het netwerk kunnen beheren en zouden verschillende identiteiten delen van de capaciteit kunnen reserveren of aankopen.



## **Literatuurlijst**

- Bastos, M., Ribeiro, F., & Cardoso Teixeira, J. (2005). Estimating of capital cost of underground car parking project. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 10(2), 126–132. <https://doi.org/10.1108/13664380580001070>
- Bélanger, P. (2007). Underground landscape: The urbanism and infrastructure of Toronto's downtown pedestrian network. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22(3), 272–292. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2006.07.005>
- Berdahl, T. A. (2008). Racial/Ethnic and Gender Differences in Individual Workplace Injury Risk Trajectories: 1988–1998. *American Journal of Public Health*, 98(12), 2258–2263. <https://doi.org/10.2105/ajph.2006.103135>
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. (2010 oktober). CargoCap – automatischer, unterirdischer Gütertransport in Ballungsräumen. *BauPortal*, 122(9). Geraadpleegd van <http://docplayer.org>
- Bhalla, M. K., & Pant, P. D. (1985). Pedestrian Traffic on Cincinnati Skywalk System. *Journal of Transportation Engineering*, 111(2), 95–104. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(1985\)111:2\(95\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(1985)111:2(95))
- Bobylev, N. (2009a). Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use. *Land Use Policy*, 26(4), 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.003>
- Bobylev, N. (2009b). Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use. *Land Use Policy*, 26(4), 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.003>
- Broere, W. (2016). Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, 245–248. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.012>
- Browne, M., Allen, J., Nemoto, T., Patier, D., & Visser, J. (2012). Reducing Social and Environmental Impacts of Urban Freight Transport: A Review of Some Major Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.088>
- CargoCap GmbH. (2017a). *The CargoCap system* [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://www.cargocap.com/content/the-cargocap-system>
- CargoCap GmbH. (2017b). *What is CargoCap?* [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://www.cargocap.com/content/what-is-cargocap>



- CargoCap-Technik. (2017). *CargoCap-Technik* [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://cargocap.de/content/technik>
- Cornwell, R. (2009, 27 december). *The car park: a celebration of its place in history*. Geraadpleegd op 19 december 2019, van <https://www.independent.co.uk/voices/commentators/ruPERT-cornwell/ruPERT-cornwell-the-car-park-a-celebration-of-its-place-in-history-1850869.html>
- Cui, J., Dodson, J., & Hall, P. V. (2015). Planning for Urban Freight Transport: An Overview. *Transport Reviews*, 35(5), 583–598. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1038666>
- Cui, J., & Nelson, J. D. (2019). Underground transport: An overview. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 87, 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.01.003>
- de Jong, W. (2018). *Wacht de Hyperloop hetzelfde lot als de Maglev?* Geraadpleegd van [https://theses.ubn.ru.nl/bitstream/handle/123456789/7503/Jong\\_de%2c\\_Ward\\_1.pdf?sequence=1](https://theses.ubn.ru.nl/bitstream/handle/123456789/7503/Jong_de%2c_Ward_1.pdf?sequence=1)
- De Moor, B., Immers, B., Bellemans, T., & Logghe, S. (2001). *Het fileprobleem in België : wiskundige modellen, analyse, simulatie, regeling en acties*. Geraadpleegd van [https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub\\_ostc/mobil/rMD11\\_nl.pdf](https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub_ostc/mobil/rMD11_nl.pdf)
- Deep, S., & Agrawal, R. (2014). Automated People Movers: A Futuristic Approach to Modern Transportation Planning. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(3), 01–11. <https://doi.org/10.9790/1684-11330111>
- Demir, A. (2015). Investigation of Air Quality in the Underground and Aboveground Multi-Storey Car Parks in Terms of Exhaust Emissions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2601–2611. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.461>
- Denys. (2019, 28 augustus). *UCM. Underground Container Mover*. Geraadpleegd op 12 maart 2020, van <https://www.denys.com/projecten/underground-container-mover>
- D’Lima, M., & Medda, F. (2015). A new measure of resilience: An application to the London Underground. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.017>
- Doppelbauer, J. (2018). *Hyperloop – an Innovation for Global Transportation?* Geraadpleegd van [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/hyperloop\\_innovation\\_for\\_global\\_transportation\\_en\\_1.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/hyperloop_innovation_for_global_transportation_en_1.pdf)

- Egbunike, O. N., & Potter, A. T. (2011). Are freight pipelines a pipe dream? A critical review of the UK and European perspective. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.05.004>
- European Agency for Safety and Health at Work . (2010). *A review of accidents and injuries to road transport drivers* . Geraadpleegd van [https://www.researchgate.net/profile/Linda\\_Drupsteen/publication/280736451\\_A\\_review\\_of\\_accidents\\_and\\_injuries\\_to\\_road\\_transport\\_drivers/links/55c479e908aea2d9bdc1ea71/A-review-of-accidents-and-injuries-to-road-transport-drivers.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Linda_Drupsteen/publication/280736451_A_review_of_accidents_and_injuries_to_road_transport_drivers/links/55c479e908aea2d9bdc1ea71/A-review-of-accidents-and-injuries-to-road-transport-drivers.pdf)
- Fan, Y., & Qian, Q. (2011). Construction of urban underground environment logistics system based on underground container transportation. *Science & Technology Review*, 29(7), 31–35. Geraadpleegd van [http://refhub.elsevier.com/S0360-8352\(19\)30668-0/h0010](http://refhub.elsevier.com/S0360-8352(19)30668-0/h0010)
- Fan, Yiqun, Liang, C., Hu, X., & Li, Y. (2020). Planning connections between underground logistics system and container ports. *Computers & Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106199>
- Ferreira Bastos, M., Loforte Ribeiro, F., & Cardoso Teixeira, J. (2005). Estimating of capital cost of underground car parking project. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 10(2), 126–132. <https://doi.org/10.1108/13664380580001070>
- Folkert, N. (2006, 1 maart). *Ondergrondse logistiek: je merkt er (nog) niets van*. Geraadpleegd op 2 mei 2020, van <https://www.nieuwsbladtransport.nl/archief/2006/03/01/ondergrondse-logistiek-je-merkt-er-nog-niets-van/>
- Gautam, S. (2018, 29 oktober). *Underground Parking: The Solution to Parking Woes?* Geraadpleegd op 17 december 2019, van <https://www.parking-net.com/parking-industry-blog/get-my-parking/underground-parking-woes>
- Geerlings, H., & van Ast, J. (2004). *Technologie voor bewegen in de toekomst: een quick scan: Een nadere focus op de bijdragen die technologische innovaties kunnen hebben op de bestrijding van congestie in verkeer en vervoer*. Geraadpleegd van [https://www.academia.edu/22177036/Technologie\\_voor\\_bewegen\\_in\\_de\\_toekomst\\_een\\_quick\\_scan\\_een\\_nadere\\_focus\\_op\\_de\\_bijdragen\\_die\\_tehnologische\\_innovaties\\_kunnen\\_hebben\\_op\\_de\\_bestrijding\\_van\\_congestie\\_in\\_verkeer\\_en\\_vervoer](https://www.academia.edu/22177036/Technologie_voor_bewegen_in_de_toekomst_een_quick_scan_een_nadere_focus_op_de_bijdragen_die_tehnologische_innovaties_kunnen_hebben_op_de_bestrijding_van_congestie_in_verkeer_en_vervoer)
- Gérard, G., Struyf, E., Sys, C., Van de Voorde, E., & Vanelslender, T. (2015). *Congestiekost voor wegvervoer: ontwikkeling generiek model en toepassing voor Vlaanderen*. Geraadpleegd van <https://repository.uantwerpen.be/docman/irua/687b35/7c1359d6.pdf>

- Hyperloop One. (2019, 1 januari). *Hyperloop One Routes Estimator*. Geraadpleegd op 26 april 2020, van <https://hyperloop-one.com/route-estimator/>
- Instituut Samenleving & Technologie (IST). (2012). *Ongehinderd logistiek transport. Moet Vlaanderen ondergronds?* (Dossier nr. 25). Geraadpleegd van [http://ist.vito.be/nl/pdf/dossiers/dossier25\\_slimondergronds.pdf](http://ist.vito.be/nl/pdf/dossiers/dossier25_slimondergronds.pdf)
- Interdepartementale Projectorganisatie Ondergronds Transport (IPOT). (1998). *Transport onder ons*. Geraadpleegd van <https://www.cob.nl/wp-content/uploads/2018/01/OTB3.pdf>
- IRU. (2019a). *Tackling Driver Shortage in Europe*. Geraadpleegd van <https://www.ecta.com/resources/Documents/Other%20publications/Tackling%20the%20European%20Driver%20Shortage%20-%20IRU%20report.pdf>
- IRU. (2019b, 20 maart). *A fifth of driver positions unfilled in the European road transport sector*. Geraadpleegd op 8 december 2019, van <https://www.iru.org/resources/newsroom/fifth-driver-positions-unfilled-european-road-transport-sector>
- Jak, T. (2019, 28 juni). *De eerste hyperloop van Europa staat in Delft*. Geraadpleegd op 17 april 2020, van <https://www.trouw.nl/binnenland/de-eerste-hyperloop-van-europa-staat-in-delft~b7114ec1c/?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Janse, P., & Rensma, K. (2008). *Verkenning duurzaamheid voor Structuurvisie Buisleidingen*. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2008/06/30/verkenning-duurzaamheid-voor-structuurvisie-buisleidingen/rapport1-ce-delft-verkenning-duurzaamheid-buisleidingen-ce30-6-2008.pdf>
- Kijewska, K., Konicki, W., & Iwan, S. (2016). Freight Transport Pollution Propagation at Urban Areas Based on Szczecin Example. *Transportation Research Procedia*, 14, 1543–1552. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.119>
- Kuykendall, J. R., Shaw, S. L., Paustenbach, D., Fehling, K., Kacew, S., & Kabay, V. (2009). Chemicals present in automobile traffic tunnels and the possible community health hazards: A review of the literature. *Inhalation Toxicology*, 21(9), 747–792. <https://doi.org/10.1080/08958370802524357>
- Lestrade-Brouwer, M. (2007). *Ondergronds transport. Slim, veilig en leefbaar*. Geraadpleegd van <https://noordbrabant.d66.nl/content/uploads/sites/80/latus/OndergrondsTransport.pdf>

- Li, J., & Liu, W. (2013). The plan of "Changing Transport Mode" in Rotterdam Port and its reference. *Shipping Management*, 35(12). Geraadpleegd van [http://refhub.elsevier.com/S0360-8352\(19\)30668-0/h0065](http://refhub.elsevier.com/S0360-8352(19)30668-0/h0065)
- Li, Y. Z., & Ingason, H. (2018). Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 81, 568–589. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.08.013>
- Liu, H. (2004). *Feasibility of Underground Pneumatic Freight Transport in New York City*. Geraadpleegd van <https://www.uta.edu/ce/cuire/UPFT%20NY.pdf>
- Liu, Z., Long, Z., & Li, X. (2015). Maglev Train Overview. *Springer Tracts in Mechanical Engineering*, 1–28. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45673-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45673-6_1)
- Lodovici, M. S., Pastori, E., Corrias, C., Sitran, A., Tajani, C., Torchio, N., & Appetecchia, A. (2009). *Tekort aan gekwalificeerd personeel in het goederenvervoer over de weg*. Brussel, België: Europees Parlement.
- Ma, C.-X., & Peng, F.-L. (2018). Some aspects on the planning of complex underground roads for motor vehicles in Chinese cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 82, 592–612. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.09.034>
- Martin, Y., & Van Dessel, J. (2005). *Brandveiligheid van tunnels*. Geraadpleegd van [https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=publ&doc=wtcb\\_artonline\\_2005\\_3\\_nr4.pdf](https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=publ&doc=wtcb_artonline_2005_3_nr4.pdf)
- McMichael, A. J. (2013). Globalization, Climate Change, and Human Health. *New England Journal of Medicine*, 369(1), 94–96. <https://doi.org/10.1056/nejmc1305749>
- National Research Council. (2013). *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*. Washington DC: National Academies Press.
- Pascal, M., Corso, M., Chanel, O., Declercq, C., Badaloni, C., Cesaroni, G., ... Medina, S. (2013). Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project. *Science of The Total Environment*, 449, 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.077>
- Pielage, B.-J. (2001). Underground Freight Transportation. A new development for automated freight transportation systems in the Netherlands. *ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.01TH8585)*. <https://doi.org/10.1109/itsc.2001.948756>
- Policy Research Corporation. (2007). *Vraagstukken conventioneel buisleidingtransport*. Geraadpleegd van

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2007/05/21/prc-rapport/prc-rapport.pdf>

Raad voor verkeer en waterstaat. (1998). *Ruimtelijke vernieuwing voor het goederenvervoer*. Geraadpleegd van <https://www.yumpu.com/nl/document/read/20264466/ruimtelijke-vernieuwing-voor-het-goederenvervoer-pdf>

Riguelle, F. (2011). *Studie aangaande de efficiëntie van de anti-dodehoeksystemen*. Geraadpleegd van <https://www.vias.be/publications/Studie%20aangaande%20de%20effici%C3%ABntie%20van%20de%20anti-dodehoeksystemen/Studie%20aangaande%20de%20effici%C3%ABntie%20van%20de%20anti-dodehoeksystemen.pdf>

Seaton, A., Cherrie, J., Dennekamp, M., Donaldson, K., Hurley, J., & Tran, C. (2005). The London Underground: dust and hazards to health. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(6), 355–362. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.014332>

Shahooei, S., Farooghi, F., Zahedzahedani, S. E., Shahandashti, M., & Ardekani, S. (2018). Application of underground short-haul freight pipelines to large airports. *Journal of Air Transport Management*, 71, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.06.008>

Statistiek Vlaanderen. (2019, 29 augustus). *Werkgelegenheid in de logistieke sector*. Geraadpleegd op 10 oktober 2019, van <https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/werkgelegenheid-in-de-logistieke-sector>

Stein, D., & Schoesser, B. (2003). CargoCap-Transportation of Goods through Underground Pipelines: Research Project in Germany. *New Pipeline Technologies, Security, and Safety*. [https://doi.org/10.1061/40690\(2003\)181](https://doi.org/10.1061/40690(2003)181)

Sterling, R., Admiraal, H., Bobylev, N., Parker, H., Godard, J.-P., Vähäaho, I., ... Hanamura, T. (2012). Sustainability issues for underground space in urban areas. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning*, 165(4), 241–254. <https://doi.org/10.1680/udap.10.00020>

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid. (2012). *SWOV-Factsheet. Dodehoekongevallen*. Geraadpleegd van <https://www.swov.nl/file/13324/download?token=3FEGcTgg>

Taylor, C., Hyde, D., & Barr, L. (2016). *Hyperloop Commercial Feasibility Analysis: High Level Overview*. Geraadpleegd van <https://www.semanticscholar.org/paper/Hyperloop-Commercial-Feasibility-Analysis%3A-High-Taylor-Hyde/32c98a5ebbd5c241952be69c0b1658d24fa51be7>

- Temmerman, P., Slootmans, F., & Lequeux, Q. (2016). *Ongevallen met vrachtwagens – Fase 1*. Geraadpleegd van [https://www.vias.be/publications/Ongevallen%20met%20vrachtwagens%20%E2%80%93%20Fase%201/Ongevallen\\_met\\_vrachtwagens\\_%E2%80%93\\_Fase\\_1.pdf](https://www.vias.be/publications/Ongevallen%20met%20vrachtwagens%20%E2%80%93%20Fase%201/Ongevallen_met_vrachtwagens_%E2%80%93_Fase_1.pdf)
- Travel Magazine. (2020, 24 januari). *Uitdagingen en oplossingen voor duurzaam reizen in 2020*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://travel-magazine.be/uitdagingen-en-oplossingen-voor-duurzaam-reizen-in-2020/>
- Vaas, F., & Oeij, P. (2011). Innovatie die werkt: de uitdaging voor innovatiemanagement. In *Innovatie die werkt: Praktijkvoorbeelden van netwerk-innoveren* (1ste editie, Vol. 1, pp. 11–34). Den Haag, Nederland: Boom Lemma.
- Van Acker, M., & Bergers, J. (2017). The path Toronto: een lichtend pad in de duisternis van ondergrondse stadsontwikkeling? *Ruimte*, (34), 56–61. Geraadpleegd van <https://www.vrp.be/static/the-path-toronto-sneak-peek-pdf-5d9a3f70e1e4a9daf28a4113c99fe7e3.pdf>
- van den Brink, R. M. M., Nijland, H., & van Wee, G. P. (2001). *Nieuwe snelle treinverbindingen tussen de Randstad en Noord Nederland: effecten op emissies en geluidhinder*. Geraadpleegd van <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/888883002.pdf>
- van der Heijden, M., & Ebben, M. (2001). OLS Schiphol-Aalsmeer: “bloemenlijntje” of transportsysteem van de toekomst? *BKtrends: bedrijfskundig magazine van de Universiteit Twente*, (14), 12–15. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25308.18568>
- van Dooren, P. (2018, 16 november). *Hamburg werkt aan hyperloop voor containers*. Geraadpleegd op 2 mei 2020, van <https://www.flows.be/nl/transport/hamburg-werkt-aan-hyperloop-voor-containers>
- van Goeverden, K. (2009). *De externe kosten van het verkeer*. Geraadpleegd van [https://www.cvs-congres.nl/cvspdfdocs/cvs09\\_151.pdf](https://www.cvs-congres.nl/cvspdfdocs/cvs09_151.pdf)
- van Veen-Groot, D. B., & Nijkamp, P. (1999). Globalisation, transport and the environment: new perspectives for ecological economics. *Ecological Economics*, 31(3), 331–346. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(99\)00099-3](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(99)00099-3)
- Vanderleyden, L., Callens, M., & Noppe, J. (2009). *De sociale staat van Vlaanderen 2009*. Geraadpleegd van [https://www.academia.edu/20882133/Zorgen\\_Voor\\_Gezondheid\\_In\\_Vlaanderen\\_Ontwikkelingen\\_Stand\\_Van\\_Zaken\\_Dilemmas](https://www.academia.edu/20882133/Zorgen_Voor_Gezondheid_In_Vlaanderen_Ontwikkelingen_Stand_Van_Zaken_Dilemmas)
- Verbond van Belgische Ondernemingen. (2017). *Een visie voor de logistiek in België*. Geraadpleegd van <https://www.vbo-feb.be/globalassets/actiedomeinen/energie->

mobiliteit--milieu/mobiliteit/la-belgique-terre-logistique-de-predilection--cest-possible-/mob---visie-logistiek---nl---pour-impression.pdf

- Vias institute. (2019). *De mobiliteit in België, 10 blikvangers*. Geraadpleegd van <https://www.vias.be/storage/main/de-10-blikvangers-van-de-mobiliteit-in-belgie-volgens-vias-institute.pdf>
- Viegas, J. C. (2010). The use of impulse ventilation for smoke control in underground car parks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25(1), 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.08.003>
- Visser, J. G. S. N. (2018). The development of underground freight transport: An overview. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 80, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.006>
- Visser, J. G. S. N., & Geerlings, H. (2001). Technological innovations in transport: an implementation strategy for underground freight transport. *Transport and Environment*, 136–156. <https://doi.org/10.4337/9781781950142.00016>
- Visser, J., Nemoto, T., & Browne, M. (2014). Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1452>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2018). *Jaarrapport Lucht. Emissies 2000-2016 en luchtkwaliteit 2017*. Geraadpleegd van [https://www.vmm.be/bestanden/VMM-2017-LKT\\_TW.pdf](https://www.vmm.be/bestanden/VMM-2017-LKT_TW.pdf)
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2019). *Uitstoot 2000-2017 en luchtkwaliteit 2018 in Vlaanderen*. Geraadpleegd van <https://www.vmm.be/publicaties/lucht-2019/uitstoot-2000-2017-en-luchtkwaliteit-2018-in-vlaanderen-samenvatting>
- Vreeswijk, L. (2015, 3 juni). *Ondergrondse buizenpost voor pakketlevering is mogelijk*. Geraadpleegd op 12 maart 2020, van <https://www.logistiek.nl/distributie/blog/2015/06/ondergrondse-buizenpost-voor-pakketlevering-is-mogelijk-101134520>
- Walker, R. (2018). *Hyperloop : Cutting through the hype*. Geraadpleegd van <https://trl.co.uk/sites/default/files/Hyperloop%20white%20paper.pdf>
- Wang, J., Zhao, L., Zhu, D., Gao, H. O., Xie, Y., Li, H., ... Wang, H. (2016). Characteristics of particulate matter (PM) concentrations influenced by piston wind and train door opening in the Shanghai subway system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.006>

- Werner, M., Eißing, K., & Langton, S. (2016). *Shared Value Potential of Transporting Cargo via Hyperloop*. Geraadpleegd van <https://www.hsu-hh.de/fgvwl/wp-content/uploads/sites/572/2017/11/hsu-wp-vwl-166.pdf>
- Wiegmans, B., Visser, J., Konings, R., & Pielage, B.-J. (2010). *Review of underground logistic systems in the Netherlands: an ex-post evaluation of barriers, enablers and spin-offs*. (45). Geraadpleegd van <https://core.ac.uk/download/pdf/41174818.pdf>
- Wilmots, B., Hermans, E., & Brijs, T. (2009). *Veiligheidscharter vrachtvervoer - Richtlijnen voor bedrijven en chauffeurs* (RA-MOW-2009-009). Geraadpleegd van <http://www.steunpuntverkeersveiligheid.be/sites/default/files/RA-MOW-2009-009.pdf>
- Yan, Y., He, Q., Song, Q., Guo, L., He, Q., & Wang, X. (2016). Exposure to hazardous air pollutants in underground car parks in Guangzhou, China. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(5), 555–563. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0450-z>
- Zhao, F. (2009). Elementary analysis on traffic jam problem in Waigaoqiao functional district in Pudong New Area. *Urban Roads Bridges & Flood Control*, 2, 4–7. Geraadpleegd van [http://refhub.elsevier.com/S0360-8352\(19\)30668-0/h0100](http://refhub.elsevier.com/S0360-8352(19)30668-0/h0100)
- Zhao, J., & Künzli, O. (2016). An introduction to connectivity concept and an example of physical connectivity evaluation for underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.12.017>
- Zhao, L., Li, H., Li, M., Sun, Y., Hu, Q., Mao, S., ... Xue, J. (2018). Location selection of intra-city distribution hubs in the metro-integrated logistics system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 80, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.024>





# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik verleen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling: **Het gebruik van ondergronds goederentransport**

Richting: **master in de handelswetenschappen - supply chain management**

Jaar: **2020**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Maesen, Bojan**

Datum: 5 juni 2020