



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Het gebruik van drones in de logistiek

Noortje Vervisch

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

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 drones in de logistiek

Noortje Vervisch

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

Deze masterthesis is tot stand gekomen in het kader van het behalen van mijn diploma Master in de Handelswetenschappen met afstudeerrichting Supply Chain Management. Het onderwerp van deze masterproef gaat over het gebruik van drones in de logistiek. Dit onderwerp kreeg mijn interesse omdat ik ervan overtuigd ben dat drones een oplossing kunnen bieden voor heel wat uitdagingen van de logistieke sector. Hierdoor leek het mij interessant om de (logistieke) toepassingen van drones te onderzoeken. Daarnaast leek het mij ook belangrijk om te weten wat de voor- en nadelen van dit vervoersmiddel, alsook de mogelijkheden en beperkingen voor drones in Vlaanderen zijn.

Verder zou ik ook graag een aantal mensen bedanken die bijgedragen hebben tot het bekomen van deze masterproef.

Allereerst wil ik graag mijn promotor dr. Tabitha Maes bedanken voor haar begeleiding, inzichten, deskundig en kritische adviezen maar voornamelijk voor haar opbouwende feedback met betrekking tot mijn literatuurstudie. Dit heeft mij geholpen in het voortzetten en verbeteren van mijn literatuurstudie.

Daarnaast wil ik ook de Universiteit Hasselt zelf bedanken voor de mogelijkheid die mij geboden werd om deze thesis te schrijven.

Verder bedank ik ook mijn ouders, broer en vriend voor hun steun en geduld tijdens mijn opleiding aan de Universiteit Hasselt. Daarnaast wil ik hun ook bedanken voor het nalezen van deze masterproef. Ook wil ik graag mijn andere familieleden, vrienden en medestudenten bedanken voor hun morele steun.

Tot slot wens ik u, de lezer van deze thesis, veel plezier met het doorlezen van deze masterthesis.

Noortje Vervisch
Maasmechelen, juni 2020

Samenvatting

Drones kunnen mogelijk een grote rol spelen in de logistieke sector. Zo zijn veel ondernemingen geïnteresseerd in het gebruik van drones voor de last mile delivery van pakketten. Daarnaast kunnen drones ook geïntegreerd worden in het magazijnproces. Naast de logistieke sector zijn ook heel wat andere sectoren geïnteresseerd of reeds aan de slag gegaan met dronetehnologie. De humanitaire sector kijkt in het bijzonder naar mogelijkheden om drones in te zetten voor de levering van hulpgoederen, bloed en medicijnen.

Het doel van deze masterproef is om te onderzoeken op welke manier drones de Vlaamse logistieke sector kunnen ondersteunen. Dat is gebeurd aan de hand van volgende centrale onderzoeksvraag: "Hoe kunnen drones ingezet worden om de logistieke sector duurzaam en efficiënt te organiseren?". Eerst zijn toepassingen in andere sectoren onderzocht. Vervolgens is een overzicht gemaakt van manieren om drones in te zetten in de logistieke sector. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen toepassingen in magazijnen en gebruik voor leveringen. Voor de indoor toepassingen zijn eerst de voor- en nadelen onderzocht. Zo is de reglementering bij indoor gebruik veel minder strikt, maar moet rekening gehouden worden met een kleinere beweegomgeving. Drones kunnen in magazijnen gebruikt worden voor inventarisatie, beveiliging, controles en intra-logistieke verplaatsingen.

Vervolgens zijn de mogelijkheden en beperkingen van drones in kaart gebracht. Drones hebben het voordeel efficiënt te zijn voor de last mile levering van pakketten. Hierbij zijn mogelijkheden bekeken om drones zo efficiënt mogelijk te laten werken. Zo kunnen parachutes gebruikt worden voor leveringen bij alleenstaande woningen en kunnen daken van wooncomplexen voorzien worden van dronestations met eventuele laadpunten. Daarnaast blijkt uit een specifieke case voor Amazon dat de operationele kosten van droneleveringen mogelijks lager liggen dan bij traditionele leveringen. Verder onderzoek moet echter duidelijk maken of de lagere kosten veralgemeend kunnen worden naar meerdere situaties. Bijkomend is ook onderzocht hoe de opbouw van routes kan zorgen voor lagere emissies bij dronegebruik. Naast voordelen zijn drones ook onderworpen aan een aantal uitdagingen. Ondernemingen willen vooral zekerheid over de prestaties van drones. Consumenten willen daarentegen geen geluidsoverlast en gewaarborgde privacy en veiligheid. Bovendien heeft ook de wetgeving een grote impact op dronegebruik. Zo wordt de algemene kostprijs en de bijhorende kostprijs per vlieg uur sterk beïnvloed door eventuele wetswijzigingen.

Tot slot is onderzocht op welke uitdagingen drones kunnen inspelen binnen de Vlaamse logistieke sector. Dit is gebeurd door inzichten uit voorgaande secties te koppelen aan de noden van de sector. Zo kunnen drones ingezet worden om de congestie in Vlaanderen te reduceren. Enerzijds kunnen bestelwagens vervangen worden door drones, anderzijds is het mogelijk om de verkeersdoorstroming te monitoren aan de hand van drones en op basis daarvan analyses uit te voeren. Daarnaast kan dronegebruik ook leiden tot een reductie van de ecologische voetafdruk van de sector. Tot slot kunnen drones ook een oplossing zijn voor de logistieke uitdagingen van e-commerce. Hierbij is de toekomstvisie van grote e-commerce retailers bekeken

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	V
Lijst van figuren	IX
Lijst van tabellen	XI
1. Onderzoeksplan	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Onderzoeksvragen	3
1.2.1 Centrale onderzoeksvraag	3
1.2.2 Deelvragen	3
1.3 Onderzoeksaanpak.....	5
1.3.1 Zoektermen en trefwoorden.....	5
1.3.1.1 Drones	5
1.3.1.2 Last mile delivery.....	5
1.3.1.3 Warehousing	6
1.3.1.4 Leveringsafstanden	6
1.3.1.5 Belgische en Europese wetgeving	6
2. Toepassingen van drones	7
2.1 Toepassingen van drones binnen andere sectoren dan de logistieke sector.....	7
2.1.1 Het gebruik van drones binnen rechtshandhaving.....	7
2.1.2 Het gebruik van drones voor 3D-beeldvorming in verschillende sectoren	8
2.1.3 Het gebruik van drones in de beveiligingssector	9
2.1.4 Het gebruik van drones in de militaire sector	10
2.1.5 Het gebruik van drones in de landbouwsector	10
2.1.6 Het gebruik van drones in de gezondheidszorg.....	11
2.1.7 Drones als hulpmiddel in de verzekeringssector.....	11
2.1.8 Het gebruik van drones in de vastgoedsector.....	12
2.1.9 Het gebruik van drones in de bouwsector.....	12
2.2 Toepassingen van drones in de logistieke sector.....	13
2.2.1 Het gebruik van drones in magazijnen	13
2.2.1.1 De voor- en nadelen van indoor toepassingen.....	14

2.2.1.2	Vorraadtelling door middel van drones	15
2.2.1.3	Drones als beveiligingsassistent.....	16
2.2.1.4	Intra-logistieke verplaatsingen	17
2.2.2	Het gebruik van drones voor leveringen.....	17
3.	De mogelijkheden en beperkingen van drones	21
3.1	De voordelen van drones.....	21
3.1.1	Efficiëntie op gebied van last mile leveringen	21
3.1.2	Lagere operationele kosten voor leveringen.....	21
3.1.3	Emissie	22
3.1.3.1	De opbouw van routes	23
3.1.3.2	One-to-one routes.....	24
3.1.3.3	One-to-many routes	24
3.2	De uitdagingen voor drones	25
3.2.1	Prestaties	25
3.2.2	Veiligheid	26
3.2.3	Geluidshinder	26
3.2.4	Privacy.....	27
3.2.5	Regelgeving	27
3.3	Kostenanalyse	28
3.3.1	Kosten van dronegebruik.....	28
3.3.1.1	Arbeidskosten	28
3.3.1.2	Aankoopkosten.....	29
3.3.1.3	Energiekosten	29
3.3.1.4	Kosten voor communicatie en software.....	29
3.3.1.5	Overige kosten	29
3.3.2	Kostprijs per vlieguur	29
3.4	Wettelijk kader	30
3.4.1	Huidige dronewetgeving.....	31
3.4.1.1	Belgische wetgeving	31
3.4.1.2	Internationale wetgeving.....	32
3.4.2	Invoer nieuwe Europese wetgeving	32
3.4.2.1	Voordelen en uitdagingen van de nieuwe Europese wetgeving	34

3.4.3	Privacywetgeving	34
4.	Dronetoepassingen in Vlaanderen	37
4.1	Congestieproblematiek.....	37
4.2	Milieuvervuiling	39
4.3	E-commerce.....	41
Conclusie	43
Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek	45
Literatuurlijst	47

Lijst van figuren

Figuur 1 Drone sensors (Anderson, 2015).....	14
Figuur 2 Voorraadtelling door middel van drones (Kruisselbrink, 2017).	16
Figuur 3 Amazon's leveringsproces door middel van drones (Roston, 2017).	19
Figuur 4 Vluchtcategorieën volgens de nieuwe Europese wetgeving voor drones (EUKA, 2019)...	33
Figuur 5 Drone die gebruikt wordt in Lyon voor het evalueren van de verkeersdoorstroom (Khan et al., 2018)	39

Lijst van tabellen

Tabel 1 Overzicht van prestatiemetingen van bestelwagens en drones (Figliozi, 2018).....	24
Tabel 2 Situatie 1: 10 drones per werknemer (Figliozi, 2018).....	30
Tabel 3 Situatie 2: 0,90 drones per werknemer (Figliozi, 2018).	30
Tabel 4 Klassenindeling van drones (Durinck & Van Hoyweghen, 2018).....	31

1. Onderzoeksplan

Het eerste hoofdstuk, het onderzoeksplan, bevat drie secties. De eerste sectie is de probleemstelling. In deze sectie wordt het probleem gekaderd en de relevantie van het onderzoek beschreven. In de tweede sectie wordt de centrale onderzoeksvraag van deze masterproef besproken. Bovendien worden ook twee deelvragen geformuleerd die zullen bijdragen tot het formuleren van een antwoord op de centrale onderzoeksvraag. Tot slot bespreekt de derde sectie de onderzoeksaanpak. In deze sectie wordt toegelicht welke bronnen in deze literatuurstudie gebruikt zullen worden om het gebruik van drones in de logistieke sector te onderzoeken.

1.1 *Probleemstelling*

Deze masterproef zal zich richten op het gebruik van drones in de logistiek. Steeds vaker krijgt de logistieke sector te maken met uitdagingen omtrent de toenemende congestieproblemen. Daarnaast wordt ook de duurzaamheid van de sector steeds meer in vraag gesteld. In drukbezette gebieden wordt steeds vaker een grotere luchtvervuiling gemeten, stadscentra worden steeds dichter bezet en de doorrijtijd in deze stadscentra is de laatste jaren zeer sterk toegenomen. In vele stadskernen zijn vrachtwagens zelfs niet meer welkom. Het goederentransport en de pendelaars tasten de luchtkwaliteit steeds verder aan. Unmanned aerial vehicles (UAVs) oftewel drones genoemd, kunnen mogelijk een grotere rol spelen in de toekomstige distributielogistiek. Drones kunnen een oplossing bieden in de last mile delivery van pakketten in (drukke) stadscentra. Daarnaast kunnen ze een levering snel uitvoeren, waardoor deze technologie zeer geschikt kan zijn voor het vervoer van organen, medicijnen en hulpgoederen. Desondanks is het nog onzeker of drones een oplossing kunnen bieden indien ze op grotere schaal worden ingezet. De meeste drones beschikken tegenwoordig nog maar over een beperkt vliegbereik. De batterijen zijn vaak niet sterk genoeg om lange afstanden af te leggen, waardoor het complex lijkt om drones in te zetten voor langere afstanden. Omdat technologie steeds blijft evolueren, zullen hoogstwaarschijnlijk in de toekomst wel oplossingen geboden kunnen worden voor deze problemen (PwC Nederland, z.d.). Zo kan het bijvoorbeeld mogelijk zijn om drones te bouwen die fungeren op brandstoffen zoals waterstof in plaats van batterijen.

Uit onderzoek van Statistiek Vlaanderen (2019) en het Vlaams Verkeerscentrum (2019) blijkt dat in Vlaanderen in 2018 een gemiddelde filezwaarte van 870,63 kilometeruren file op een werkdag buiten de schoolvakantie was, gedurende een duurtijd van één uur op de hoofdwegen in het Vlaamse Gewest. De gemiddelde filelengte op de Vlaamse snelwegen bedroeg 160,87 kilometer op een werkdag buiten de schoolvakantie. De meeste verkeersdrukke bevindt zich in Antwerpen en Brussel. Tegenover 2012 is de filezwaarte met 270 kilometeruren per werkdag buiten de schoolvakantie toegenomen. Vooruitzichten tonen aan dat de verzadigingsgraad geleidelijk aan alleen maar verder zal toenemen. Verwachtingen van het Federaal Planbureau (2015) wijzen uit dat de vraag naar passagiersvervoer zal toenemen met 11 procent en de vraag naar goederenvervoer met 47 procent tegen 2030. Een kleine verkeerstoename zal alleen maar meer aanleiding geven tot een veel sterkere toename van congestieproblemen en ongevallen zullen meteen zorgen voor grote verkeershinder (Vlaams Verkeerscentrum, 2019). Verwacht wordt dat de gemiddelde snelheid op de weg tijdens de daluren zal afnemen met 10% en tijdens de spitsuren met 24% (Verbond van Belgische

Ondernemingen, 2017). Onderzoek van het Instituut weg Transport & Logistiek België (ITLB), wijst uit dat één uur stilstaan in het wegverkeer gemiddeld 80 euro per vrachtwagen kost en 11 euro voor een automobilist (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017; Van Dooren, 2018).

Dankzij haar strategische ligging in Europa kan België op veel interesse rekenen van buitenlandse bedrijven. België is namelijk gesitueerd in het midden van de zogenaamde "Blauwe Banaan", een gebied dat zich uitstrekt van Londen tot Milaan. Zo hebben een duizendtal ondernemingen in België een Europees distributiecentrum gevestigd. Verder kan België op veel interesse rekenen dankzij de aanwezigheid van haar verschillende belangrijke zee- en binnenhavens, haar internationale luchthavens, haar spoorwegennetwerk en haar waterwegennet (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Daarnaast zorgt ook e-commerce voor een sterke toename van het verkeer op onze Vlaamse wegen. E-commerce is voor de Belgische ondernemingen een opportuniteit, maar het brengt ook negatieve gevolgen met zich mee. E-commerce leidt ondermeer tot kleinere en frequentere leveringen en een lagere vullingsgraad van de transportmodi. Consumenten eisen steeds vaker levering binnen 24 uur, waardoor logistieke bedrijven zich moeten aanpassen aan deze wensen (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Om hoofd te kunnen bieden aan de congestieproblemen zouden bedrijven meer moeten overstappen van unimodaal vervoer (het gebruik van slechts één vervoerswijze) naar intermodaal transport (het gebruik van meerdere vervoerswijzen tijdens één traject). Bij de keuze van de vervoerswijze moet rekening gehouden worden met de voor- en nadelen van iedere modus. Ook al wordt tegenwoordig steeds meer gebruikgemaakt van intermodaal transport om de verbindingen naar het hinterland te ontlasten, toch blijft een groot deel van het transport gebeuren via de weg. Om de drukte rond het Antwerpse havengebied te verminderen wordt bijvoorbeeld vaak gebruikgemaakt van containerhubs om containers te vervoeren naar het hinterland. Toch gebeurt het verdere verloop van het traject meestal aan de hand van wegtransport met vrachtwagens. Deze vrachtwagens vervoeren de goederen meestal naar de distributiecentra, waarna de verdere distributie vaak opnieuw via de weg gebeurt door middel van bestelwagens. De bestelwagens worden meestal ingezet om producten tot bij de klant te krijgen. Het is dan ook logisch dat dit meestal gebeurt in drukke woongebieden en stadscentra waar de congestieproblemen het grootst zijn (A. Caris, persoonlijke communicatie, februari 2019). Voor deze transporten zouden drones mogelijk een goed alternatief kunnen bieden.

Maar ook binnen distributiecentra kunnen drones ondernemingen faciliteren. Zo zou het bijvoorbeeld mogelijk zijn om drones in te zetten om producten in deze centra te (ver)plaatsen of op te halen. Daarnaast kunnen drones ook gebruikt worden voor de inventarisatie van de voorraden. Zo zouden deze onbemande luchtvaartuigen het werk van de orderpickers kunnen overnemen. Door gebruik te maken van een centrale databank met de gegevens van alle producten, zouden de drones perfect weten waar goederen geplaatst of opgehaald moeten worden. Het gebruik van deze apparatuur zou ondernemingen kunnen helpen om kostenvoordelen te genereren doordat de arbeidskost gereduceerd wordt. Daarnaast zou de foutmarge van drones ook lager liggen dan wanneer het picken

van de orders gebeurt door arbeiders (Carr, 2016; McGregor, 2016).

Omdat nog veel onzekerheid heerst omtrent het gebruik van drones is het zeer belangrijk dat onderzoek gedaan wordt naar het gebruik van dit transportmiddel in de commerciële en humanitaire logistieke sector. Op dit moment is hieromtrent nog een gat in de huidige literatuur. Het gebruik van drones zal daarom in deze masterproef onderzocht worden. Zo kan het gebruik van drones in drukbezette gebieden congestieproblemen en luchtvervuiling aanzienlijk verminderen. Daarnaast is het nodig om de logistieke toepassingen van drones te onderzoeken. Het is bovendien van belang om te weten wat de voor- en nadelen van deze vervoerswijze zijn. Ten slotte is het interessant om te bekijken hoe drones ingezet kunnen worden in Vlaanderen. Hierbij wordt bekeken hoe drones een oplossing kunnen bieden voor de uitdagingen van de logistieke sector.

1.2 Onderzoeksvragen

In onderstaande secties worden de onderzoeksvragen geformuleerd waarop dit onderzoek steunt. Eerst wordt de centrale onderzoeksvraag toegelicht. Vervolgens worden de deelvragen beschreven die gebruikt zijn om naar de centrale onderzoeksvraag toe te werken.

1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

Vanuit bovenstaande probleemstelling wordt in deze masterproef een centrale onderzoeksvraag geformuleerd die de basis zal vormen. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

“Hoe kunnen drones ingezet worden om de logistieke sector duurzaam en efficiënt te organiseren?”

Zoals reeds vermeld werd in de probleemstelling, staat de logistieke sector voor een aantal uitdagingen. Zo staat de efficiëntie van de sector stevig onder druk door de toename in e-commerce en de hoge eisen van de consument omtrent leveringen. Deze efficiëntie houdt nauw verband met de duurzaamheid van de sector. Doordat consumenten steeds snellere leveringstermijnen verwachten en steeds vaker kleinere hoeveelheden bestellen, worden vracht- en bestelwagens dikwijls inefficiënt geladen. Dit verhoogt op zijn beurt het aantal transporten, wat bijgevolg een impact heeft op de duurzaamheid van de sector (A. Caris, persoonlijke communicatie, februari 2019).

Het is vanuit bovenstaande opzichten dat in deze masterproef onderzoek wordt gedaan naar de mogelijke manieren waarop drones een oplossing kunnen bieden. Aan de hand van de centrale onderzoeksvraag wordt in deze masterproef onderzocht hoe drones de logistieke sector duurzamer en efficiënter kunnen maken.

1.2.2 Deelvragen

Om een duidelijk antwoord op de onderzoeksvraag te bieden is dit onderzoek opgedeeld in verschillende deelvragen. Op die manier wordt een zo volledig mogelijk antwoord geboden op de vraag hoe drones het best kunnen ingezet worden in de logistieke sector.

De eerste deelvraag waarop deze masterproef een antwoord tracht te formuleren is:

“Welke bestaande toepassingen van drones kunnen gelinkt worden aan de noden van de logistieke sector?”

Met de eerste deelvraag wordt geacht een beter zicht te krijgen op welke manier drones op dit moment ingezet worden en hoe deze toepassingen uitgebreid kunnen worden naar de logistieke sector. Drones worden bijvoorbeeld reeds vaak gebruikt om luchtfoto's te maken. De manier waarop drones binnen andere toepassingen gebruikt worden, kan mogelijks een antwoord bieden op de uitdagingen voor het gebruik van drones binnen logistieke toepassingen. Daarnaast worden bepaalde logistieke toepassingen reeds uitgevoerd door drones. Het onderzoeken van deze toepassingen kan een mogelijkheid bieden om reeds gebeurd onderzoek en aangebrachte veranderingen te veralgemenen naar verdere logistieke toepassingen.

Daarnaast wordt in deze masterproef ook gebruikgemaakt van een tweede deelvraag, namelijk:

“Wat zijn de mogelijkheden en beperkingen van drones?”

Het is belangrijk om te onderzoeken wat de mogelijkheden van drones zijn om de luchtvaarttuigen op basis van deze mogelijkheden zo efficiënt mogelijk te implementeren in de Vlaamse logistieke sector. Om drones te kunnen integreren in de supply chain van ondernemingen is het noodzakelijk om te weten waartoe drones wel en niet in staat zijn. Door hun kenmerken goed te onderzoeken, moet duidelijk worden wat hun sterke punten zijn en hoe deze kunnen bijdragen aan de logistieke sector. Maar ook de uitdagingen moeten grondig onderzocht worden. Op basis daarvan moet duidelijk worden voor welke uitdagingen de dronesector nog staat om toepassingen in andere sectoren mogelijk te maken. Hierdoor kan ingezet worden op het omvormen van deze uitdagingen tot opportuniteiten en kansen. Daarnaast willen ook ondernemingen graag duidelijk weten welke uitdagingen drones bieden alvorens in de technologie te investeren. Op die manier kunnen ze een doordachte analyse maken en op basis daarvan beslissen om de technologie wel of niet te implementeren. Daarnaast kunnen ze ook hun processen indien nodig aanpassen zodat de drones efficiënt gebruikt kunnen worden.

Tot slot wordt een antwoord geformuleerd op de centrale onderzoeksvraag door middel van een derde deelvraag. Deze deelvraag luidt als volgt:

“Op welke manier kunnen drones ingezet worden in de Vlaamse logistieke sector?”

In deze deelvraag zullen, op basis van de vorige deelvragen, de bestaande toepassingen en mogelijkheden van drones gelinkt worden aan de actuele uitdagingen in de Vlaamse logistieke sector. Op die manier wordt een overzicht gegeven van op welke uitdagingen drones een oplossing kunnen bieden. Door linken te leggen met bestaande toepassingen in andere sectoren en de besproken mogelijkheden wordt uitgelegd hoe drones een rol van betekenis kunnen spelen.

1.3 Onderzoeksaanpak

In deze masterproef wordt gebruikgemaakt van een literatuurstudie om het gebruik van drones in de logistieke sector te onderzoeken. Om relevante en betrouwbare artikels te vinden, werd gebruikgemaakt van verschillende databanken waaronder de bibliotheek van de Universiteit Hasselt en Google Scholar. De zoektermen en trefwoorden die onder andere gebruikt werden zijn: drones (unmanned aerial vehicles), last mile delivery en warehousing. Daarnaast wordt in deze masterproef ook gebruikgemaakt van vakliteratuur zoals websites van vakorganisaties en logistieke magazines. Door middel van een literatuurstudie zal deze masterproef voornamelijk onderzoeken welke logistieke toepassingen van drones reeds bestaan en wat de mogelijkheden en beperkingen voor het gebruik van drones in Vlaanderen zijn.

1.3.1 Zoektermen en trefwoorden

In deze sectie worden de zoektermen en trefwoorden toegelicht die gebruikt werden om tot relevante literatuur te komen.

1.3.1.1 Drones

Drones zijn luchtvaartuigen die in staat zijn om langdurig te vliegen, die geen piloot aan boord hebben en die onder voldoende controle staan om verschillende functies uit te voeren (Scott & Scott, 2017). Drones worden vaak ook aangeduid met de afkorting "UAV" wat staat voor "unmanned aerial vehicle" (Tsach, Tatievsky, & London, 2010). Drones kunnen vanaf de grond bestuurd worden met behulp van een afstandsbediening maar in bepaalde gevallen kunnen deze onbemande luchtvaartuigen ook zelfstandig vliegen door voorgeprogrammeerde routes. Wanneer een drone vanaf de grond op afstand bediend wordt, wordt ze vaak ook aangeduid met de term "RPV". Dat staat voor "remotely piloted vehicle". Ook vereisen de toestellen betrouwbare draadloze communicatie voor de besturing van het luchtvaartuig (Narayanan & Ibe, 2015).

Drones worden geclassificeerd op basis van verschillende prestatiekenmerken. Aspecten waarop drones geclassificeerd worden zijn: gewicht, uithoudingsvermogen, bereik, snelheid en vleugelbelasting. Andere kenmerken die in aanmerking kunnen komen om drones te vergelijken en te classificeren zijn: kosten, vleugellading, maximale vlieghoogte, motortype en vermogen (Arjomandi, Agostino, Mammone, Nelson, & Zhou, 2006).

1.3.1.2 Last mile delivery

Last mile delivery is een term die gebruikt wordt binnen transportplanning. De term duidt de verplaatsing aan van goederen van een transportknooppunt naar een eindbestemming. De eindbestemming van de levering is meestal de woonplaats van de koper (Goodman, 2005).

De focus van last mile delivery ligt op het zo snel mogelijk leveren van goederen aan de eindgebruiker. De term is erg populair geworden door de toegenomen populariteit van e-commerce. Bovendien is last mile delivery een duur en tijdrovend onderdeel van het verzendproces. Het is voornamelijk dit deel van het verzendproces dat ingevuld kan worden door drones. Omwille van de beperkte afstand die drones kunnen afleggen, kunnen ze hoofdzakelijk voor last mile delivery ingezet

worden (Aurambout, Gkoumas, & Ciuffo, 2019). Indien ontwikkelaars van drones in de toekomst slagen om de toestellen langere afstanden te laten overbruggen, bestaat de mogelijkheid dat meerdere delen van het verzendproces overgenomen kunnen worden door drones.

1.3.1.3 Warehousing

Warehousing is hetzelfde als opslag van goederen, namelijk goederen bewaren in loodsen, containers, opslagtanks, silo's enzovoort (Van den Berg & Zijm, 1999). Deze zoekterm is relevant voor deze masterproef omdat drones ook in distributiecentra ingezet kunnen worden. Zoals reeds besproken in de probleemstelling kunnen drones gebruikt worden voor inventarisatie, zoals het tellen en scannen van de voorraden. Bovendien zouden drones ook ingezet kunnen worden om goederen te plaatsen of op te halen in het magazijn. Het gebruik van deze onbemande toestellen zou bedrijven helpen om kostenvoordelen te genereren doordat arbeidskosten gereduceerd kunnen worden (Culus, Schellekens, & Smeets, 2018; Sorrell, 2018).

1.3.1.4 Leveringsafstanden

Zoals reeds besproken in sectie 1.3.1.2 speelt de leveringsafstand momenteel nog een grote rol voor drones. Het is namelijk zo dat ontwikkelaars nog steeds bezig zijn met het produceren van drones die grote afstanden kunnen afleggen. In dit proces stoten ze vooral op de beperkte capaciteit van batterijen (Kim & Lim, 2018). Door gebruik te maken van brandstofcellen is het echter wel al mogelijk om de drones tot maar liefst vier uur te laten vliegen (DroneHub GAE, 2018). De toekomst zal dus moeten uitwijzen voor welke leveringsafstanden drones in de toekomst ingezet kunnen worden.

1.3.1.5 Belgische en Europese wetgeving

In april 2016 is een Koninklijk Besluit ingevoerd dat betrekking heeft op het gebruik van op afstand bestuurde luchtvaartuigen in het Belgische luchtruim. Deze wetgeving wordt als restrictief aanzien. Daarom zal de huidige wetgeving vanaf 1 juli 2020 niet meer van toepassing zijn. De Belgische wetgeving zal vervangen worden door de nieuwe Europese wetgeving. Deze nieuwe wetgeving zal soepeler zijn voor het gebruik van drones dan de huidige Belgische wetgeving. De nieuwe wetgeving zal een aantal veranderingen teweegbrengen in België. Eén van de grootste veranderingen is dat het onderscheid tussen recreatieve dronepiloten en professionals zal wegvallen. Zo zal alleen nog maar een onderscheid gemaakt worden op basis van de risico's die bepaalde vluchten met zich meebrengen (EUKA, 2019). Indien logistieke dienstverleners buiten hun magazijnen gebruik willen maken van drones is wetgeving een cruciale factor. In die zin is het cruciaal dat deze masterproef rekening houdt met dronewetgeving, omdat dit een grote invloed zal hebben op een eventuele implementatie van dronegebruik in Vlaanderen.

2. Toepassingen van drones

In het tweede hoofdstuk komen de toepassingen van drones aan bod. Dit hoofdstuk omvat een beschrijving van de reeds bestaande toepassingen van onbemande luchtvaartuigen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen toepassingen van drones die bestaan in de logistieke sector en in andere sectoren.

Het gebruik van drones, zowel voor persoonlijk als commercieel gebruik, is de laatste jaren exponentieel gegroeid. Vrijwel iedere industrie opteert om de onbemande luchtvaartuigen te gebruiken als middel om efficiënter en kostenbesparend te kunnen werken (Sorrell, 2018).

De meest bekende voorbeelden zijn ongetwijfeld Amazon's voorstel om drones in te zetten voor het leveren van pakketten binnen een tijdsspanne van dertig minuten en Walmart's plan om de onbemande luchtvaartuigen te gebruiken voor het voorraadbeheer in hun magazijnen. Toch bestaan nog veel meer toepassingen van drones die op dit moment geïmplementeerd, getest of voorgesteld worden (Custers, Oerlemans, & Vergouw, 2015).

2.1 Toepassingen van drones binnen andere sectoren dan de logistieke sector

Zoals eerder vermeld worden in deze sectie de toepassingen van drones onderzocht buiten de logistieke sector. Hierbij wordt een opdeling gemaakt in verschillende sectoren en toepassingen. Allereerst worden de toepassingen van drones bekeken binnen de rechtshandhaving. Vervolgens wordt het gebruik van drones voor 3D-beeldvorming onderzocht in verschillende sectoren. Daaropvolgend wordt in verschillende secties onderzoek verricht naar drones in de beveiligingssector, de militaire sector, de landbouwsector, de gezondheidszorg en de verzekeringssector. Tot slot worden ook de vastgoedsector en de bouwsector nader onderzocht in functie van het gebruik van drones.

2.1.1 Het gebruik van drones binnen rechtshandhaving

Instanties zoals politie- en hulpdiensten, waaronder lokale en federale politiediensten alsook de brandweer, maken gebruik van onbemande luchtvaartuigen voor het beheer van de openbare veiligheid (Culus et al., 2018). Het gebruik van deze toestellen werkt niet alleen effectiever, maar helpt ook bij het verbeteren van de veiligheid en bij het redden van mensenlevens (Kückelhaus & Niezgodá, 2014; Sorrell, 2018). Toepassingen binnen rechtshandhaving waarbij gebruikgemaakt wordt van drones zijn bommeldingen, onderzoek van schietpartijen, opsporings- en reddingsacties van personen, verkeersincidenten, analyses van plaatsen delict, bewakingsoperaties en crowd monitoring op openbare plaatsen of bij evenementen (Kardasz, Doskocz, Hejduk, Wiejkut, & Zazycki, 2016; Mazur, Wisniewski, & MicMillan, 2016).

Ook indien de politie bijvoorbeeld op zoek is naar een verdachte, zou een drone kunnen gelanceerd worden om over daken, in tuinen of in straten te zoeken naar de persoon in kwestie (Custers et al., 2015). In bepaalde gevallen zouden ook meerdere drones ingezet kunnen worden om een perimeter op te zetten (Ditton, 2000). Daarnaast kunnen drones ook gelanceerd worden om verdachte

personen of voertuigen die op de vlucht slaan in het oog te houden en het risico op verrassingselementen te beperken (Perritt & Sprague, 2015).

Ook in het geval van een brand kunnen drones die uitgerust zijn met een warmtebeeldcamera een overzicht geven van de omstandigheden, vooraleer brandweerlieden de gevaarlijke situatie trotseren (Culus et al., 2018). Zo kunnen drones onder andere helpen bij het vinden van mensen die gered moeten worden, maar ook bij het lokaliseren van een eventuele brandhaard (Kardasz et al., 2016). Hierdoor kunnen risico's beperkt worden en wordt de efficiëntie van de operatie vergroot (Culus et al., 2018).

Door drones in te zetten om de stromen op openbare plaatsen of bij evenementen te monitoren, kunnen politiediensten realtime gegevens ontvangen over verkeerscongestie of verstoringen van de orde (Custers et al., 2015). Door mogelijke verstoringen sneller te herkennen alvorens ze escaleren, kunnen veiligheidsinstanties sneller en efficiënter reageren. Wanneer drones daarenboven over de mogelijkheid zouden beschikken om gezichten te herkennen, zou hun waarde alleen maar verder toenemen omdat ze dan kunnen helpen bij het identificeren van overtreders (Culus et al., 2018).

Wanneer drones binnen deze omstandigheden gebruikt worden, verbetert het de veiligheid van de instanties en van de burgers. Een drone kan namelijk sneller, gedetailleerder, tegen een lagere kost en op minder gevaarlijke wijze een plaats delict, een verkeersincident, een ramp of eender welke andere situatie in kaart brengen. Toch wordt het gebruik van drones bij het monitoren van menigten momenteel vermeden uit veiligheidsoverwegingen (Sorrell, 2018).

2.1.2 Het gebruik van drones voor 3D-beeldvorming in verschillende sectoren

Steeds meer drones beschikken over 3D-beeldcamera's en hoge-resolutiecamera's met videomogelijkheden. Hierdoor zijn drones in staat om gedetailleerde opnames te maken die opgeslagen, geanalyseerd en gebruikt kunnen worden voor uiteenlopende doeleinden binnen een verscheidenheid aan toepassingen. Zo kunnen (3D) beeldopnames onder andere gebruikt worden bij brandbestrijding, rampen, zoek- en reddingsoperaties, archeologisch onderzoek en bouw- en constructiewerken (Sorrell, 2018).

In rampgebieden kunnen drones reddingsoperaties faciliteren of logistieke ondersteuning bieden. Zo kunnen deze onbemande vaartuigen hier hulpgoederen zoals dekens, water of voedsel leveren (Custers et al., 2015; Perritt & Sprague, 2015). Daarnaast kunnen de toestellen in rampgebieden onder het puin of in gebouwen kijken om de schade op te meten of op zoek te gaan naar (vermiste) personen (Custers et al., 2015). Daarenboven gebeurt dit allemaal vanop een veilige afstand (Sorrell, 2018).

Verder zijn drones in staat om realtime close-up video's te maken omdat ze weinig geluid veroorzaken (Mazur et al., 2016). Hierdoor kunnen ze ingezet worden bij het opnemen van filmscènes en nieuwsberichten of bij concerten en sportevenementen. Daarnaast kunnen drones

gelanceerd worden om verschillende perspectieven te krijgen van een scène (Mazur et al., 2016; Sorrell, 2018). Drones zijn bijvoorbeeld perfect geschikt voor het maken van overzichtsbeelden of hoge camerashots (Custers et al., 2015). Daarnaast kunnen ze ook ingezet worden om reclamespots en promotiefilms te maken (Kardasz et al., 2016).

Het gebruik van drones biedt vele voordelen ten opzichte van de traditionele methoden zoals het gebruik van kranen en helikopters om te filmen vanuit de lucht. Eén van de belangrijkste voordelen is het gebruiksgemak. Een ander voordeel is de flexibiliteit en de relatief lage kostprijs (Culus et al., 2018; Kückelhaus & Niezgodá, 2014). Bovendien kunnen drones op ieder moment van de dag, ongeacht de weersomstandigheden, ingezet worden (Sorrell, 2018).

Daarnaast kunnen drones ook ingezet worden om inspecties of patrouilleringen uit te voeren. Zo kunnen drones enerzijds patrouilleringen uitvoeren over grote gebieden of eigendommen en beelden verzamelen van moeilijk bereikbare locaties (Sorrell, 2018). Anderzijds zou het ook mogelijk kunnen zijn om constructies te inspecteren op plaatsen die moeilijk tot niet toegankelijk zijn (Custers et al., 2015). Daarnaast kunnen drones ook helpen bij het inspecteren van elektriciteits- en nutsleidingen (Kardasz et al., 2016). Drones zijn namelijk makkelijker inzetbaar in afgelegen gebieden of op moeilijk bereikbare plaatsen (Mazur et al., 2016). Een drone zou voorgeprogrammeerd kunnen worden om elektriciteits- en nutsleidingen te volgen en beeldmateriaal te versturen naar de utiliteitsspecialist. Deze specialist kan bijgevolg een controle uitvoeren als hij of zij iets opmerkt dat van dichtbij bekeken moet worden. Constructies zoals bruggen, dammen, watertorens, elektriciteitscentrales, afvalzuiveringsinstallaties, olie- en gasbedrijven zijn voorbeelden van complexe inrichtingen die specifieke risico's met zich meebrengen en bijgevolg zeer geschikt zijn voor drone inspecties (Sorrell, 2018). Drones kunnen onder andere inzoomen en op deze manier minutieuze details vastleggen (Perritt & Sprague, 2015; Sorrell, 2018).

Bij gebruik van drones wordt daarnaast ook de downtime van de installaties geminimaliseerd. Wanneer inspecties uitgevoerd worden door arbeiders, kan vereist worden dat de installaties of machines uitgeschakeld worden. Drones daarentegen kunnen inspecties uitvoeren zonder downtime van de machines. Op dit moment zijn de Belgische energiebedrijven koplopers in het gebruik van drones bij het uitvoeren van inspecties van hoogspanningsnetwerken, elektriciteitscentrales en zonne-energieparken (Culus et al., 2018).

2.1.3 Het gebruik van drones in de beveiligingssector

Diefstallen en bedreigingen worden steeds gecompliceerder en vereisen steeds geavanceerdere oplossingen. Drones kunnen hier een grote rol in spelen door middel van een combinatie van betere camera's met nieuwe technologieën zoals gezichts- en kentekenherkenning (Custers et al., 2015). Zo kunnen diverse beveiligingstoepassingen uitgevoerd worden door de onbemande luchtvaartuigen (Mazur et al., 2016). Hierbij zal het voornamelijk gaan over de ondersteuning van beveiligingsagenten tijdens het controleren van goederen en locaties. Zo kunnen drones een aantal taken overnemen maar zal de aanwezigheid van menselijke factoren in eerste instantie nog vereist zijn (Culus et al., 2018).

Fabrieken en industriegebieden zijn vaak complexe systemen, waar fysieke controle een essentieel element is voor een optimale en veilige werking. Veel bedrijven maken hierdoor gebruik van beveiligingsagenten en statische camera's om hun terreinen te bewaken. Een nadeel van statische camera's is echter dat deze vaak over een dode hoek beschikken. Hierdoor worden drones steeds vaker ingezet om voor extra veiligheid te zorgen en om een dynamischer beeld van het hele terrein weer te geven. Dit is voornamelijk zinvol op grote terreinen. Wanneer drones voorgeprogrammeerd kunnen worden om automatisch en 's nachts te vliegen, kunnen ze de site in de gaten houden terwijl beveiligingsagenten toezicht houden via schermen in een controlekamer (Culus et al., 2018). Ondanks dat de meerderheid van de inspectiecontroles uitgevoerd kunnen worden door security agenten, wordt steeds vaker getracht om de aanwezigheid van menselijke factoren tot een minimum te beperken om het systeem zo optimaal en geautomatiseerd mogelijk te laten verlopen (Hell & Varga, 2019).

2.1.4 Het gebruik van drones in de militaire sector

De militaire sector is één van de sectoren waar drones al het langst ingezet worden. Deze sector maakt namelijk al meer dan zestig jaar gebruik van onbemande luchtvaartuigen (De Florio, 2016). Ondanks dat automatische besturing zoals automatische pilootsystemen voor vliegtuigen al verschillende jaren bestaan, is het gebruik van drones in de militaire sector de afgelopen jaren noemenswaardig toegenomen (Tsiatsis, Karnouskos, Höller, Boyle, & Mulligan, 2019). Volgens De Florio (2016) werden de onbemande luchtvaartuigen voornamelijk gebruikt om in tijden van oorlog waarnemingen op het slagveld uit te voeren. Op die manier kon het aantal bemande vluchten over vijandige gebieden verlaagd worden. Volgens Culus et al. (2018) worden drones tegenwoordig hoofdzakelijk ingezet in gebieden waar toezicht en luchtaanvallen op afstand nodig zijn. De meerderheid van deze systemen vereist wel een externe piloot om het toestel te leiden (Tsiatsis et al., 2019). Daarnaast kunnen de toestellen ook gebruikt worden voor overdrachtsvluchten en bij paramilitaire operaties om de bewaking en veiligheid van stedelijke gebieden te waarborgen (De Florio, 2016).

2.1.5 Het gebruik van drones in de landbouwsector

Binnen de landbouwsector worden drones op dit moment reeds ingezet (Custers et al., 2015). Drones kunnen de landbouwsector op verschillende manieren ondersteunen (Kückelhaus & Niezgodá, 2014). Zo kunnen de onbemande vaartuigen bijvoorbeeld gebruikt worden om gewassen te inspecteren en oogsten te optimaliseren (Culus et al., 2018; Mazur et al., 2016). Daarnaast kunnen ze ook als vogelverschrikker ingezet worden om vogels, die de gewassen vernietigen en de oogst beïnvloeden, af te schrikken (Culus et al., 2018).

Proefprojecten met het gebruik van drones in België focussen voornamelijk op het monitoren van de oogst. De gegevens die door drones verzameld worden, worden gebruikt om gewassen te vergelijken, correlaties te ontdekken en het bemestingsproces te verbeteren. Bovendien kunnen drones door middel van één enkele beeldopname de gezondheid en de voortgang van een gewas tonen. Vroeger dienden boeren van ieder perceel een monster te nemen. Drones verhogen duidelijk de efficiëntie waardoor landbouwers zich kunnen focussen op andere activiteiten (Culus et al., 2018).

Op dit moment gebeurt het beoordelen en het inschatten van de kwaliteit van de oogst nog op een manuele manier. Deze manier van werken is niet alleen tijdrovend, maar ook duur en vaak onjuist. Wanneer dit proces uitgevoerd wordt door drones, met behulp van hoge-resolutie camera's die het juiste aantal vruchten tellen en de dikte van de vruchten meten, kan dit proces geautomatiseerd worden en opnieuw voor meer efficiëntie zorgen in de landbouwsector (Culus et al., 2018).

2.1.6 Het gebruik van drones in de gezondheidszorg

Drones kunnen in de medische wereld op verschillende manieren ingezet worden. Zo kunnen onbemande luchtvaartuigen onder andere ingezet worden om bloed, medicijnen, organen, medische monsters en medische materialen te vervoeren (Amukele, Ness, Tobian, Boyd, & Street, 2017).

Om deze producten binnen een zo kort mogelijke tijdspanne op de juiste locatie te krijgen, worden vaak spoedtransporten uitgevoerd. Zo worden organen, weefsel en bloed vaak via een prioritair voertuig, helikopter of vliegtuig vervoerd. Mogelijkerwijs zijn onbemande luchtvaartuigen een oplossing omdat ze gevrijwaard zijn van vertragingen in het verkeer, een lage overheadkost hebben en over de mogelijkheid beschikken om zich overal te begeven. Drones zijn echter enkel een oplossing als ze de getransporteerde bloedcomponenten niet nadelig beïnvloeden. Plotselinge versnellingen en vertragingen, alsook veranderingen in luchtdruk en temperatuur mogen geen ongunstig effect hebben. Onderzoek heeft uitgewezen dat transporten van bloedcomponenten door middel van drones een vergelijkbaar resultaat opleverden als transporten van bloedcomponenten uitgevoerd door middel van andere transportmodi (Amukele et al., 2017).

Daarnaast kan een drone medische materialen zoals defibrillatoren vervoeren om mensen te helpen hun hartaanval te overleven (Boutilier et al., 2017; Claesson et al., 2017). Een drone met een automatische externe defibrillator kan door een dispatcher geactiveerd worden en vervolgens naar het adres gestuurd worden dat aan de noodcentrale werd doorgegeven. Daarnaast kunnen drones ook gestuurd worden naar locaties die moeilijk te bereiken zijn via andere transportmodi of die op de één of andere manier geheel ontoegankelijk zijn (Mazur et al., 2016; Sorrell, 2018).

2.1.7 Drones als hulpmiddel in de verzekeringssector

Ook binnen de verzekeringssector kunnen drones een grote rol spelen. Zo kunnen onbemande vaartuigen bijvoorbeeld helpen om een schadeafhandeling gemakkelijker te laten verlopen, maar kunnen de toestellen ook helpen bij het inspecteren van getroffen gebieden (Mazur et al., 2016). Drones kunnen voornamelijk een nuttige rol spelen bij het verzamelen van informatie na het gebeuren van een ramp zoals een brand of een instorting. Daarnaast kunnen de luchtvaartuigen ook ingezet worden om schade vast te stellen in gevaarlijke gebieden waar zich bijvoorbeeld puin, omgewaaide bomen of hoogspanningskabels bevinden (Custers et al., 2015).

Door gebruik te maken van drones kunnen gegevens direct verzameld worden en kunnen mogelijke risico's gemonitord worden (Culus et al., 2018). In rampgebieden kunnen drones op die manier op efficiënte wijze gebruikt worden (Mazur et al., 2016). Zonder gebruik van drones kan het soms weken duren vooraleer verzekeraars op een veilige manier een getroffen gebied kunnen betreden om de

schade op te meten. Zo komt het vaak voor dat autoriteiten de toegang tot een rampgebied voor meerdere dagen beperken uit veiligheidsoverwegingen. Drones bieden verzekeringsexperts een veiligere toegang tot deze gebieden. Zo kunnen de gebieden betreden worden door onbemande luchtvaartuigen om de schade vast te stellen en beelden van de schade te maken (Sorrell, 2018). Deze beelden kunnen vervolgens gebruikt worden om schadeclaims te behandelen. Op die manier worden mogelijke gevaarlijke situaties voor de verzekeringsagenten vermeden (Culus et al., 2018).

Uit onderzoek blijkt dat verzekeringsmaatschappijen jaarlijks 32 miljard euro verliezen omwille van fraude. Verzekeringsmaatschappijen zijn dan ook bedrijvig op zoek naar manieren om fraude te voorkomen (Mazur et al., 2016). Drones kunnen hiervoor een goede oplossing zijn. Zo kan een verzekeringsagent een drone sturen naar de plaats van een ongeval om foto's te maken. Aan de hand van die gegevens, kunnen vervolgens de ingediende gegevens van de verzekerde geverifieerd worden om fraude te voorkomen (Culus et al., 2018).

2.1.8 Het gebruik van drones in de vastgoedsector

Binnen de vastgoedsector wordt voornamelijk gebruikgemaakt van drones om betere en gedetailleerdere foto's van onroerende goederen te maken. Zo helpen video-opnames door middel van dronetechnologie onder andere bij het tonen van de eigendomsgrenzen, bij het identificeren van omliggende gebieden en bij het tonen van de binnen- en buitenkant van gebouwen (Sorrell, 2018).

2.1.9 Het gebruik van drones in de bouwsector

Het inzetten van drones in de bouwsector kan toegevoegde waarde creëren. Zo kunnen onbemande toestellen niet alleen gevaarlijk werk verrichten, maar kunnen ze ook gegevens op een nauwkeurige en kostenefficiënte manier verzamelen (Mazur et al., 2016). Zo kan een drone bijvoorbeeld daken of schoorstenen inspecteren zodat werknemers niet onnodig op hoogte moeten werken (Custers et al., 2015).

Drones kunnen 3D-beelden en videopnames maken om de voortgang van het bouwproject te monitoren of om inspecties uit te voeren, met de bedoeling om eventuele benodigheden of tekortkomingen te onthullen (Sorrell, 2018). Op dit moment worden veel bouwprojecten nog gecontroleerd door middel van persoonlijke inspecties, uitgevoerd door werfleiders. Een langzaam en kostelijk proces, dat bovendien vaak leidt tot onvolledige en kwalitatief slechte resultaten (Culus et al., 2018). Hetzelfde zien we terug bij inspecties voor onderhoudswerken. Deze inspecties gebeuren tot op heden ook vaak manueel maar kunnen veel efficiënter uitgevoerd worden door middel van drones (Mazur et al., 2016).

Het is daarnaast ook mogelijk om drones te gebruiken om de toestand en de middelen van projecten in realtime te evalueren en te monitoren (Culus et al., 2018). Daardoor kunnen werfleiders eenvoudig bepalen wat de mogelijke volgende stappen en benodigheden zijn. Drones kunnen ook zorgen dat de werkzaamheden niet onderbroken worden (Sorrell, 2018). Bovendien kunnen werknemers op een veilige afstand gehouden worden en kunnen drones inspecties uitvoeren op plaatsen die voor werknemers moeilijk bereikbaar zijn (Mazur et al., 2016).

Tot slot kunnen drones ook helpen bij het bepalen van de voorraden (Mazur et al., 2016). Zo zijn in de bouwsector meestal grote hoeveelheden voorraad nodig. Daarnaast kan het moeilijk zijn om de voorraad in te schatten omwille van de structuur of de grootte. Zo is het bijvoorbeeld moeilijk in te schatten hoeveel zand of grind nog aanwezig is op een bouwterrein. Daarom is het beter om drones in te zetten die aan de hand van technologie de voorraden kunnen bepalen. Op die manier is het mogelijk om voorraden niet alleen sneller en kostenefficiënter maar ook veel nauwkeuriger te berekenen (Culus et al., 2018).

2.2 Toepassingen van drones in de logistieke sector

Binnen de logistieke sector kunnen drones binnen twee gebieden ingezet worden. Enerzijds kunnen drones intern gebruikt worden binnen magazijnen. Anderzijds kunnen ze ook ingezet worden voor het transporteren van kleine pakjes van de verkoper naar de eindklant. In sectie 2.2.1 wordt onderzocht voor welke toepassingen drones binnen magazijnen gebruikt kunnen worden. In sectie 2.2.2 wordt vervolgens distributie door middel van drones onderzocht. Hierbij wordt in kaart gebracht wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van het gebruik van drones voor bepaalde toepassingen. Op die manier wordt onderzocht of het gebruik van drones kan leiden tot een hogere efficiëntie en of het inzetten van drones technisch haalbaar is.

2.2.1 Het gebruik van drones in magazijnen

Volgens onderzoek van Flytbase (2019) kunnen onbemande luchtvaartuigen op verschillende manieren in magazijnen ingezet worden. Zo kunnen drones een centrale rol spelen in de automatisering van magazijnoperaties. Dit vanwege hun vermogen om zelfstandig te vliegen, goederen te vervoeren, obstakels te vermijden, binnenshuis te navigeren en op afstand gebruikt te worden.

De traditionele manier van werken in magazijnen is volledig in verandering. Zo ondergaan magazijnen steeds meer een digitale transformatie, gaande van QR-codes tot autonome robots en algoritmen die de vraag voorspellen. Deze digitale verandering wordt gedreven door een hogere omzet en kosten- en veiligheidsvoordelen. Het doel van de magazijnen is om met behulp van digitale technologieën een honderd procent nauwkeurig overzicht van de voorraden te verkrijgen, een realtime inzicht in vraag en aanbod te vergaren, faciliteiten volledig te beveiligen en de veiligheid van werknemers te verhogen (Flytbase, 2019).

Volgens A. Caris (persoonlijke communicatie, februari 2019) kunnen drones helpen bij de inventarisatie en het orderpicken. Culus et al. (2018) en Sorrell (2018) voegen hieraan toe dat drones ook ingezet kunnen worden om goederen in het magazijn te stockeren. Het gebruik van de onbemande toestellen helpt bedrijven om op deze manier kostenvoordelen te genereren, doordat drones de taken van werknemers kunnen overnemen. Ook kunnen drones ingezet worden om artikelen op hoge en/of moeilijk bereikbare plaatsen te bereiken. Hierdoor wordt het gebruik van ladders en liften door personeelsleden gereduceerd. Zo wordt niet alleen het proces versneld, maar wordt ook de veiligheid op de werkvloer verhoogd.

Door onbemande luchtvaartuigen uit te rusten met scanners, kunnen producten in magazijnen gescand, gelokaliseerd en gecatalogiseerd worden. Op deze manier kan naast het bijhouden van de voorraadniveaus van de verschillende producten, ook de vraag voorspeld worden en kan automatisch bepaald worden wanneer een nieuwe bestelling geplaatst moet worden (Culus et al., 2018).

Volgens het vaktijdschrift *Made in Limburg* (2020) volgen veel ondernemingen op de voet hoe de dronetechnologie evolueert. Hierbij is hoofdzakelijk interesse op het vlak van in-house processen. Zo is *Made in Limburg* ervan overtuigd dat het gebruik van drones voor inventarisatie heel wat voordelen kan bieden op het gebied van kosten en veiligheid (*Made in Limburg*, 2020). De voordelen voor de inventarisatie zullen in sectie 2.2.1.2 in kaart gebracht worden.

2.2.1.1 De voor- en nadelen van indoor toepassingen

Het gebruik van drones in magazijnen lijkt op het eerste zicht veel gemakkelijker dan outdoor gebruik van drones. Zo zijn drones niet afhankelijk van het weer bij indoor gebruik. Doordat geen rekening gehouden moet worden met weersverschijnselen zoals wind, regen en sneeuw is het veel gemakkelijker om drones op een universele wijze te gebruiken dan bij outdoor toepassingen. Daarnaast is de wetgeving voor indoor gebruik ook veel minder streng dan wanneer drones buiten gebruikt worden (Wawrla, Maghazei, & Netland, 2019).

Tegenover de voordelen van indoor gebruik staan ook enkele technische uitdagingen. In magazijnen is de omgeving waarin drones kunnen vliegen veel beperkter. Zo moet rekening gehouden worden met een groot aantal obstakels zoals machines, rekken en heftrucks. Deze obstakels verhogen de complexiteit van de vliegroutes omdat botsingen vermeden moeten worden. Daarnaast kan de navigatie bij indoor operaties, in tegenstelling tot outdoor operaties, niet via GPS gebeuren. De GPS-signalen worden namelijk makkelijk verstoord door metalen constructies (Wawrla et al., 2019).

De drones moeten daarom opereren aan de hand van sensoren en algoritmes. Op basis van die sensoren en algoritmes wordt een soort van plan geïnstalleerd in de drones waardoor ze weten waar de obstakels zich bevinden. Hierdoor kunnen de drones steeds hun positie lokaliseren en zichzelf tussen de obstakels door manoeuvreren. Daarnaast kunnen de drones op basis van hun sensoren onvoorziene obstakels waarnemen en botsingen vermijden (*Made in Limburg*, 2020).

Op figuur 1 is een voorbeeld te zien van hoe drones uitgerust worden met sensoren om vanuit verschillende posities objecten te kunnen waarnemen.



Figuur 1 Drone sensors (Anderson, 2015).

Momenteel wordt hard gewerkt aan het optimaliseren van de dronetechnologie, maar daarnaast wordt ook ingezet op het verlagen van de kosten die verbonden zijn aan dronegebruik. Voorbeelden hiervan zijn operationele kosten en installatiekosten. Op die manier moeten investeringen in dronetechnologie voor ondernemingen een zo hoog mogelijke return on investment opleveren. Op korte termijn zal het gebruik van drones echter voornamelijk financieel aantrekkelijk zijn voor grote magazijnen (Made in Limburg, 2020).

Wanneer alle technische obstakels van de baan zijn, moeten drones ook ingepast worden in de bestaande bedrijfsprocessen. Dat is echter geen eenvoudige opgave. Zo moeten de bestaande processen herbekeken worden en afgestemd worden op het gebruik van drones. Het gebruik van drones moet namelijk op de meest efficiënte manier worden toegepast, rekening houdend met beperkingen zoals batterij- en laadcapaciteit (Wawrla et al., 2019).

Tot slot is ook de veiligheid van drones een belangrijke factor. Zo kunnen drones verwondingen of beschadigingen veroorzaken bij storingen. Zo bestaat de kans dat de batterij explodeert. Wanneer dit buiten in openlucht gebeurt, kan dit al heel wat schade opleveren maar zeker in gesloten ruimtes zoals magazijnen kan dit tot veel fysieke en materiële schade leiden (Wawrla et al., 2019).

Naast technische uitdagingen wordt het gebruik van drones in magazijnen ook bemoeilijkt door enkele ethische uitdagingen. Deze uitdagingen slaan voornamelijk op privacy en gegevensbescherming. Daarnaast heerst vanuit de vakbonden ook ongerustheid over geluidsoverlast en de veiligheid van de werknemers. Tot slot moeten bedrijven ook op vlak van verzekering in orde zijn wanneer ongevallen met drones voorvallen (Wawrla et al., 2019).

2.2.1.2 Voorraad telling door middel van drones

Het is voor veel ondernemingen een belangrijk gegeven dat de juiste voorraadwaarden voorhanden zijn. Om een juiste stocktelling uit te voeren, dient het magazijn bij een stocktelling vaak voor meerdere dagen stilgelegd te worden. In die dagen gaan werknemers aan de slag om de voorraden te tellen. Wanneer bedrijven hiervoor drones zouden inschakelen, kan het aantal dagen dat een magazijn stilgelegd moet worden tot een minimum gereduceerd worden. Zo zouden drones voorraad tellingen kunnen uitvoeren na de werkuren of tijdens dagen wanneer normaal niet gewerkt wordt (Lindert, 2019).

Zoals besproken werd in sectie 2.1.5 en sectie 2.1.9 gebeurt inventarisatie in de bouw- en landbouwsector tegenwoordig reeds aan de hand van drones. In deze sectoren is duidelijk geworden dat inventarisatie door middel van drones efficiënter kan gebeuren.

Het inzetten van een drone voor voorraad telling biedt verschillende voordelen voor een onderneming. Een eerste voordeel is dat niet langer met een hoogtewerker of met een veiligheidskooi geplaatst op de vorken van een hef- of reachtruck gewerkt moet worden. Deze manier van werken leidt vaak tot gevaarlijke situaties. Door het inschakelen van drones voor de inventaris, kunnen arbeidsongevallen gereduceerd worden. Werknemers moeten in dat geval niet langer in gevaarlijke situaties moeilijk

bereikbare producten scannen en/of tellen. Daarnaast is het tellen van de voorraden met behulp van een hoogtewerker een tijdrovend proces en bijgevolg dus kostbaar. Om in een zo kort mogelijke tijd de hele voorraden te tellen, dienen ondernemingen vaak extra personeel in te huren. Dit zorgt opnieuw voor een stijging van de arbeidskosten (Lindert, 2019).

Voorraad telling door middel van drones kan daarom een goede oplossing zijn. Drones verhogen namelijk de efficiëntie. Het grootste voordeel van het gebruik van drones voor voorraad telling is dat de operaties in het magazijnen niet langer stilgelegd moeten worden. In de gangen waar hoogtewerkers rijden, kunnen orderpickers niet verder aan het werk. Wanneer een drone daarentegen ingeschakeld wordt, is maar één kant van het gangpad voor korte tijd niet toegankelijk. De tegenoverliggende gang blijft toegankelijk voor de orderpickers. Bovendien hoeven bedrijven niet langer één keer per jaar de volledige voorraad te tellen, maar kunnen tellingen het hele jaar door gebeuren. Dit verhoogt opnieuw de efficiëntie. De telling kan daarnaast ook uitgevoerd worden op ogenblikken die het best in de planning passen. Omwille van de automatisering wordt daarnaast ook de foutmarge verkleind. Tot slot zijn de aankoopkosten van drones meestal binnen de twaalf tot achttien maanden na aankoop terugverdiend (Lindert, 2019).

Wanneer inventarisatie gebeurt door middel van drones, dienen deze toestellen zoals eerder gezegd uitgerust te worden met de nodige scanners. Ook alle producten dienen bijgevolg voorzien te worden van barcodes. De drone vliegt dan langsheen de rekken op zoek naar de barcodes van de pakketten. Wanneer de drone ter hoogte van het pakket vliegt, wordt de barcode gescand en wordt het product opgenomen in de telling (Culus et al., 2018; Sorrell, 2018). Op figuur 2 is te zien hoe een drone opereert om voorraad tellingen uit voeren.



Figuur 2 Voorraad telling door middel van drones (Kruisselbrink, 2017).

2.2.1.3 Drones als beveiligingsassistent

Door middel van drones kunnen manuele controles en bewakingswerkzaamheden in magazijnen geautomatiseerd worden. Zoals aangetoond werd in sectie 2.1 worden drones in andere sectoren reeds gebruikt om inspecties uit te voeren. Voorbeelden van sectoren zijn de bouwnijverheid, de petrochemie, de gas- en olie-industrie en de energiesector. Ook in magazijnen worden steeds meer inspecties uitgevoerd door drones (Wawrla et al., 2019).

Drones kunnen in magazijnen gebruikt worden ter inspectie van wanden, daken, palletplaatsen en

stellingen. Des te meer activiteiten plaatsvinden in een magazijn, hoe moeilijker en bijgevolg ook duurder het inspectieproces wordt. Voor het uitvoeren van inspecties en technische controles worden vaak vakkundige experts ingehuurd. Daarnaast verhinderen de inspecties ook vaak de werkzaamheden. Wanneer deze inspectie geautomatiseerd wordt, zal dat veel minder het geval zijn. Inspecties kunnen dan bijvoorbeeld 's nachts uitgevoerd worden en het werk zou niet langer stilgelegd moeten worden (Wawrla et al., 2019). Zoals aangehaald werd in sectie 2.1.2 zijn Belgische energiebedrijven een koploper op het gebied van drone inspecties. Drones hebben in die sector bewezen de downtime drastisch te kunnen verlagen.

Daarnaast zijn drones ook adequaat voor inspecties in gevaarlijke omstandigheden. Werknemers of inspecteurs moeten op die manier niet langer op hoge stellingen werken om inspecties uit te voeren, maar kunnen in plaats daarvan drones gebruiken (Wawrla et al., 2019). Deze voordelen zien we, zoals aangehaald in sectie 2.1.9, ook terug in de bouwsector waar drones vaak ingezet worden om moeilijk bereikbare plaatsen te inspecteren. Tot slot kunnen drones ook ongewenste gedragingen zoals ontvreemdingen vermijden. Dit kan door de drones op geregelde tijdstippen surveillanceroutes te laten afleggen en eventueel ongewenst gedrag te laten opsporen (Wawrla et al., 2019). Uit sectie 2.1.3 is gebleken dat drones in de beveiligingssector beter werken dan statische camera's omdat ze flexibel inzetbaar zijn en niet over een dode hoek beschikken.

Volgens Flanders Make, een strategisch onderzoekscentrum voor de maakindustrie, kunnen drones ook interessant zijn om productiemachines te onderwerpen aan controles. Zo kunnen drones ingezet worden om machines op hoogte te controleren zonder de machines hiervoor te moeten stilleggen. Een drone kan daarnaast bijvoorbeeld ook geluiden waarnemen en deze onderzoeken om technische defecten te voorspellen (Made in Limburg, 2020).

2.2.1.4 Intra-logistieke verplaatsingen

Binnen magazijnen en productieomgevingen kunnen drones ook ingezet worden voor de intra-logistiek. Voorbeelden hiervan zijn het verplaatsen van grondstoffen of afgewerkte goederen tussen de palletlocaties en de machines. Zo kunnen de drones perfect gebruikt worden om materialen en reserveonderdelen te vervoeren via vliegroutes die vooraf bepaald worden zijn echter momenteel wel nog enkele vitale beperkingen. Zo zijn het laadvermogen en de batterijcapaciteit van drones momenteel nog beperkt. Daarnaast moeten de drones ook in staat zijn grijpbewegingen en verplaatsingen uit te voeren (Kückelhaus & Niezgodá, 2014; Wawrla et al., 2019).

2.2.2 Het gebruik van drones voor leveringen

Het gebruik van drones voor de laatste kilometer bij pakketbezorging is één van de meest besproken oplossingen in de literatuur om de impact op het milieu te verminderen (Custers et al., 2015). Door de toenemende e-commerce groei is de last mile delivery één van de belangrijkste uitdagingen van de logistieke keten geworden. E-commerce zet bedrijven aan om hun transportdienst te moderniseren. Het aantal bezorgingsdiensten neemt namelijk toe door het just-in-time management van bedrijven. Ook door toenemende eisen van consumenten zoals "vandaag besteld morgen in huis" of "levering op dezelfde dag" hebben ervoor gezorgd dat bestaande bezorgingsdiensten hun

bedrijfsstrategie hebben aangepast. Daarnaast zijn hierdoor ook nieuwe expres leveringsdiensten op de markt gekomen (Troudi, Addouche, Dellagi, & El Mhamedi, 2018).

Op dit moment leeft volgens onderzoek van Vandekerckhove (2018) 55 procent van de wereldbevolking in een stedelijk gebied. Vooruitzichten tonen aan dat dit cijfer tegen 2050 zal stijgen tot 68 procent. Het verbeteren van de e-commerce sector en het aanbieden van een bezorgservice van hoge kwaliteit zijn dan ook de belangrijkste uitdagingen waar e-commerce bedrijven mee te maken krijgen. Transport kan echter volgens Troudi et al. (2018) vooral in stedelijke gebieden met veel problemen te maken krijgen. Deze problemen kunnen voor bedrijven grote struikelblokken zijn. Naast het gegeven dat klanten verwachten dat hun bestellingen snel geleverd worden, geven ze ook de voorkeur om zich niet te moeten verplaatsen naar een eventueel afleverpunt om ze op te halen. Om deze redenen experimenteren transportbedrijven met nieuwe transportmodi zoals drones.

Drones zouden een goede oplossing kunnen zijn voor de uitdagingen die e-commerce met zich meebrengt. In sectie 2.1.6 werd namelijk aangetoond dat onderzoek in de gezondheidssector heeft uitgewezen dat spoedleveringen sneller kunnen uitgevoerd worden door drones omdat ze geen vertraging oplopen in het verkeer. Onderzoek naar het gebruik van drones als transportmiddel voor commerciële toepassingen is daarnaast ook het resultaat van succesvol gebruik van onbemande luchtvaartuigen in de militaire sector, zoals aangehaald in sectie 2.1.4. Vanwege de wettelijke beperkingen in België en de technische gebreken zoals een beperkte batterijcapaciteit is het bezorgen van pakketjes geen eenvoudige opgave (Culus et al., 2018).

Door de wereldwijde toenemende verstedelijking is de hoeveelheid mensen die online aankopen verspreid over een relatief klein gebied. Wanneer drones gebruikt zullen worden voor het leveren van pakketten in deze dichtbevolkte gebieden, is de kans vrij groot dat het luchtruim overvol geraakt met drones. Hierdoor neemt het risico op botsingen tussen de onbemande luchtvaartuigen toe. Bijgevolg lijkt het gebruik van drones voor leveringen van pakketten op regelmatige basis onhaalbaar (Culus et al., 2018).

Daarnaast zijn nog enkele andere uitdagingen verbonden aan het gebruik van drones bij leveringen. Zo beschikken drones namelijk (nog) niet over de mogelijkheid om aan te bellen bij het huis van de ontvanger. Een mogelijke oplossing hiervoor is de ontvanger, via een notificatie op een elektronisch apparaat zoals een smartwatch, smartphone of tablet, te laten weten dat de drone op de bestemming aangekomen is. Een tweede uitdaging is het bewijs van levering. Drones zijn niet in staat om de handtekening van de ontvanger te registreren, waardoor het bewijs van levering via een andere manier verkregen zal moeten worden. Een mogelijkheid om dit probleem op te lossen, is om drones uit te rusten met een camera om de ontvanger te fotograferen. Een derde uitdaging is wat met het pakket dient te gebeuren als de ontvanger niet thuis is (Culus et al., 2018).

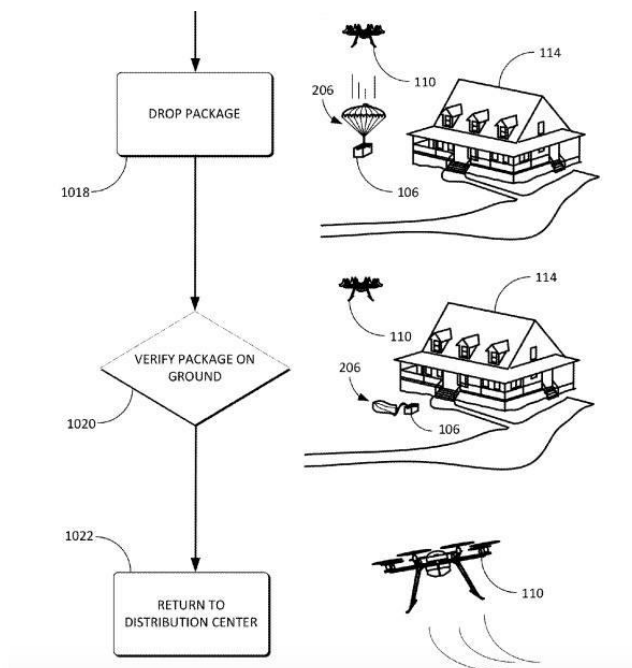
Voor de levering van pakketten met drones wil e-commercebedrijf Amazon gebruikmaken van parachutes. Hiervoor heeft Amazon in 2015 een patentaanvraag ingediend, die later goedgekeurd werd. Het patent gaat eigenlijk over een nieuw soort verzendlabel. Op het eerste zicht lijkt het

vreemd om een patent aan te vragen voor een nieuw verzendlabel, maar Amazon heeft het idee om in deze verzendetiketten een parachute in te bouwen (Humphries, 2017).

Amazon krijgt volgens Humphries (2017) dagelijks heel veel orders te verwerken waardoor ze sterk inzetten op efficiëntie. Dit trekken ze dan ook door in hun verpakkingen. Ook bij dit label staat efficiëntie centraal. In het patent dat Amazon heeft verkregen, wordt uitgelegd hoe deze nieuwe verzendlabels moeten uitzien. Het gaat over een label met een zelfklevende achterkant dat bestaat uit een grote hoeveelheid aan parachutesnoeren, een parachute en een afscheurhoes.

Daarnaast bestaat ook de mogelijkheid dat Amazon de pakketten zou voorzien van sensoren om de landingsprecisie te evalueren. Tot slot wordt in het patent ook gesproken over schokdempers om de pakketten te beschermen tegen valschade.

Onderstaande figuur toont het leveringsproces aan dat Amazon voor ogen heeft (Roston, 2017).



Figuur 3 Amazon's leveringsproces door middel van drones (Roston, 2017).

De drone vliegt in eerste instantie op basis van GPS-signalen naar de bestemming. Vervolgens wordt het pakket vanuit de lucht naar beneden gedropt. Op dat moment treedt het label in werking. Het label, dat aangebracht wordt aan de bovenkant van het pakket, zit gedurende de vliegreis tegen de bodem van de drone. Op het moment dat de drone het pakket loslaat, komt de parachute los uit het verzendlabel en maakt op die manier een geleidelijke en stabiele daling mogelijk. Wanneer de omvang van de pakketten groter zou zijn en één parachute de lading niet zou kunnen dragen, is het mogelijk dat meerdere parachutes aan het pakket bevestigd worden. Wanneer het pakket geland is op de grond controleert de drone tot slot of het pakket juist afgeleverd is alvorens terug te keren naar het distributiecentrum. Uit een nieuwe patentaanvraag van Amazon blijkt dat de onderneming blijft inzetten op droneleveringen en het gebruik van parachutes. Amazon denkt daarom ook na over de mogelijkheden om gedropte pakketten verder te besturen door middel van landingsflappen en luchtkanonnen (Humphries, 2017).

Volgens Culus et al. (2018) zullen drones voornamelijk in bepaalde situaties waarin consumenten en bedrijven bereid zijn een premie te betalen een rol kunnen spelen. Hierbij wordt voornamelijk gedacht aan (dringende) leveringen van medische benodigdheden zoals bloedcomponenten, medische monsters en materialen of andere (dringende) leveringen. De kostprijs voor deze dienstverlening zou verlaagd kunnen worden als één enkele dronepiloot op hetzelfde moment verschillende drones zou kunnen bedienen en controleren. Ook zouden drones in minder dichtbevolkte gebieden, zoals afgelegen locaties, een toegevoegde waarde kunnen bieden. Bij afgelegen gebieden moet gedacht worden aan plattelandsgebieden, olieplatformen, schepen en windmolenparken op zee. De kostprijs voor het bezorgen van goederen in deze afgelegen gebieden is tegenwoordig namelijk zeer hoog. Wanneer deze gebieden bediend zouden worden door de onbemande luchtvaartuigen, zou dit een kosteneffectieve oplossing zijn.

3. De mogelijkheden en beperkingen van drones

De laatste jaren hebben heel wat ondernemingen geëxperimenteerd met drones. Die ondernemingen hebben door middel van testen geprobeerd om de voor- en nadelen van het gebruik van drones binnen hun onderneming in kaart te brengen. Zo heeft DHL, één van de grootste logistieke dienstverleners ter wereld, enkele belangrijke voordelen vastgesteld (Kückelhaus & Niezgodá, 2014). Op basis daarvan worden in sectie 3.1 de voordelen van drones in kaart gebracht. Vervolgens worden in sectie 3.2 de uitdagingen van dronegebruik besproken. Daaropvolgend wordt in sectie 3.3 een kostenanalyse uitgevoerd en wordt in sectie 3.4 het wettelijk kader onderzocht.

3.1 De voordelen van drones

In dit deel van de masterproef worden de voordelen van drones uitgebreid onderzocht en in kaart gebracht. Allereerst wordt de efficiënte onderzocht binnen last mile leveringen. Drones zouden namelijk vooral efficiënt ingezet kunnen worden om het laatste deel van het leveringsproces te voltooien (Figliozi, 2018). Vervolgens worden de operationele kosten van droneleveringen vergeleken met de kosten van levering via koerierdiensten. Tot slot wordt bekeken hoe milieuvriendelijk drones zijn. Hierbij wordt onderzocht hoe leveringsroutes zo efficiënt mogelijk georganiseerd kunnen worden in functie van een lagere uitstoot.

3.1.1 Efficiëntie op gebied van last mile leveringen

Drones kunnen binnen het leveringsproces vooral op vlak van last mile leveringen waarde toevoegen aan de supply chain van ondernemingen. Zo kunnen ze de congestie en opstoppingen in drukke gebieden vermijden. Vaak wordt daarentegen geen rekening gehouden met de manier waarop de leveringen afgeleverd zullen worden. Zo zullen landingsplaatsen en bezorgstations noodzakelijk zijn om de leveringen bij de klant te bezorgen. Daarnaast moeten ook gebieden gecreëerd worden waar drones veilig kunnen opstijgen en landen (Figliozi, 2018).

Bij alleenstaande woningen zou het mogelijk kunnen zijn om de pakketten door middel van een parachute te droppen, waardoor de drone niet hoeft te landen. In sectie 2.2.2 werd reeds besproken hoe Amazon dergelijke leveringen mogelijk wil maken. Bij grote wooncomplexen zou het een mogelijkheid kunnen zijn om de daken, die vaak ongebruikt zijn, om te bouwen tot dronestations. Indien mogelijk zouden hierbij ook oplaadpunten voorzien kunnen worden waar drones tussen twee vluchten door kunnen opladen. Hierdoor krijgen drones een groter bereik. Het is duidelijk dat zeer grote verschillen op te merken zijn tussen leveringen bij alleenstaande woningen en leveringen bij wooncomplexen waar meerdere potentiële klanten samenleven (Figliozi, 2018).

3.1.2 Lagere operationele kosten voor leveringen

Ondernemingen zijn altijd op zoek naar manieren om hun positie in de markt te versterken. Door middel van kostenvoordelen en hogere marges is het voor ondernemingen mogelijk om de concurrentie te overtroeven. In die zoektocht is Amazon uitgekomen bij het gebruik van drones voor pakketleveringen. De e-commerce retailer is ervan overtuigd dat het gebruik van drones tot lagere operationele kosten zal leiden (Welch, 2015). Hieronder wordt, op basis van onderzoek van Welch (2015), uiteengezet of het voor Amazon voordeliger zou zijn om in de Amerikaanse stad Chattanooga

leveringen uit te voeren met drones in plaats van de leveringen uit te laten voeren door een koerierdienst.

Eerst werd onderzocht wat de prijs is om een pakket te leveren door middel van een koerierdienst. Een koerier verdient in de regio die onderzocht werd ongeveer 25 dollar per uur en werkt gemiddeld tien uur per dag. Naast de arbeidskosten moeten ook de kosten van de brandstof in kaart gebracht worden. De prijs wordt daarom afgerond naar dertig dollar per uur. De totale kostprijs is op die manier driehonderd dollar per dag. Uit onderzoek blijkt daarnaast ook dat een chauffeur gemiddeld 250 pakketten kan afleveren op één werkdag. De prijs per pakket kan dan berekend worden door de totale kostprijs te delen door het aantal geleverde pakketten en bedraagt 1,20 dollar per pakket (Welch, 2015).

Om een analyse van de eventuele kostenvoordelen te maken, moeten eerst de volledige kosten in kaart gebracht worden die nodig zijn om een leveringssysteem op basis van drones op te zetten. In eerste instantie zal Amazon moeten investeren in de aanschaf van voldoende drones. Deze aanvangsinvestering is meteen de grootste kost voor de onderneming. Voor de regio Chattanooga zouden drie dronestations nodig zijn met 35 drones per station. Op die manier zouden 105 drones aangekocht moeten worden. De kostprijs per drone wordt voor Amazon geschat op drieduizend tot vijfduizend dollar. Om aan de totale investeringskost te geraken, wordt een gemiddelde prijs van vierduizend dollar vermenigvuldigd met het aantal drones dat op 105 vastgelegd werd. De totaalprijs van de investering bedraagt zo 420.000 dollar (Welch, 2015)

Om de kosten per pakket te kunnen berekenen, wordt ervan uitgegaan dat drones een levensduur hebben van vijf jaar. De kosten voor onderhoud en reparaties in die periode worden vastgelegd op duizend dollar. De totale prijs per drone is dan vijfduizend dollar. De totale kostprijs over de periode van vijf jaar loopt dan op van 420.000 dollar naar 525.000 dollar. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat drones gemiddeld 3,3 leveringen kunnen uitvoeren per uur. Als drones net zoals koeriersdiensten tien uur per dag leveren dan kan één drone op vijf jaar tijd 60.060 leveringen uitvoeren. Dit scenario gaat, zoals eerder vermeld, ervan uit dat in de regio 105 drones operationeel zijn. Alle drones kunnen dan samen 6.306.300 leveringen uitvoeren. Als de totale kostprijs van 525.000 dollar gedeeld wordt door het totaal aantal leveringen, dan bedraagt de kostprijs per levering 0,08 dollar. Als de drones in plaats daarvan niet 10 uur maar 14 uur per dag operationeel kunnen zijn, daalt de prijs tot 0,06 dollar per levering (Welch, 2015).

Uit bovenstaand onderzoek van Welch (2015) kan geconcludeerd worden dat de operationele kosten bij leveringen door middel van drones veel lager liggen dan bij leveringen door middel van een koerierdienst.

3.1.3 Emissie

Transport is in de meeste ontwikkelde landen grotendeels verantwoordelijk voor de totale uitstoot aan broeikasgassen (Hertwich & Peters, 2009). Op basis van een vergelijkende studie tussen de emissies van onbemande luchtvaartuigen en conventionele vrachtwagens kunnen enkele conclusies

getrokken worden. De studie van Figliozzi (2018) vergeleek verschillende scenario's waarbij leveringen exclusief werden uitgevoerd door drones of vrachtwagens. Uit die vergelijking werd duidelijk dat vrachtwagens en drones best in combinatie met elkaar gebruikt kunnen worden. De resultaten van het onderzoek toonden namelijk aan dat drones minder emissies uitstoten wanneer de klanten zich in de nabije omgeving van het depot bevinden, terwijl vrachtwagens dan weer minder vervuilend zijn wanneer de klant zich verder van het depot bevindt.

In sectie 3.1.3.1 wordt verder ingegaan op mogelijke manieren om routes te ontwerpen om beide vervoersmiddelen zo efficiënt mogelijk op elkaar af te stemmen. Vervolgens wordt in de twee daaropvolgende secties een schatting gemaakt van de voordelen van drones op vlak van emissies in twee verschillende scenario's. Eerst worden one-to-one routes geanalyseerd, waarbij een voertuig naar zijn bestemming gaat en nadien direct terugkeert naar het depot. Vervolgens worden one-to-many routes onderzocht, waarbij één voertuig meerdere bestemmingen bedient alvorens leeg terug te keren naar het depot (Figliozzi, 2018).

Op basis van onderzoek van Choi en Schonfeld (2017) over het energieverbruik van drones en de impact van accu's en lading op het vliegbereik, kan geconcludeerd worden dat droneleveringen vooral voordeliger zijn in gebieden met een hoge klant dichtheid. Daarnaast kan verbeterde accutechnologie zorgen dat ondernemingen aanzienlijk minder drones moeten aankopen en zo de omvang van hun vloot kunnen beperken. Indien drones over een langere werkingstijd beschikken, is het mogelijk om leveringen over een langere afstand uit te voeren, waardoor ondernemingen opnieuw minder drones dienen aan te kopen.

3.1.3.1 De opbouw van routes

Heel wat onderzoek heeft zich gericht op "drone routing" en planning. Deze onderzoeken hebben geleid tot een divers aantal varianten die hierna uitgelegd worden. Murray en Chu (2015) onderzochten in hun studie "The flying sidekick traveling salesman problem (FSTSP)" hoe routes optimaal ontworpen kunnen worden door drones en vrachtwagens gecombineerd een reeks klanten te laten bedienen.

Ponza (2016) heeft de beperkingen omtrent de leveringstijden van drones in het voorgaand model aangepast en zo een "simulated annealing metaheuristic" ontwikkeld.

Agatz, Bouman en Schmidt (2018) duiden FSTSP aan als "Traveling Salesman Problem with Drones" (TSPD). Dit onderzoek heeft een vergelijking geboden tussen enerzijds de optimale oplossingen zonder gebruik van drones (TSP) en anderzijds met gebruik van drones (TSPD).

Yürek en Özmutlu (2018) hebben het "Traveling Salesman Problem with Drones" in twee fasen opgelost. In de eerste fase worden de routes van de vrachtwagens bepaald, waarna de droneknooppunten in de tweede fase worden toegewezen.

3.1.3.2 One-to-one routes

Figliozzi (2018) maakte in zijn onderzoek een analyse van de one-to-one routes in termen van emissies per afstandseenheid. Op basis van die analyse kan geconcludeerd worden dat drones op ecologisch gebied veel beter presteren dan bestelwagens. Het elektriciteitsverbruik van drones is 22 keer schoner dan het energieverbruik van bestelwagens door middel van dieselmotoren.

De prestatieingenomen zijn wel gunstiger voor de bestelwagens wanneer de analyse wordt uitgevoerd in termen van energieverbruik en emissies per afstand, per eenheid en per kilogram geleverde lading. Maar ondanks dat een bestelwagen gemiddeld 378 keer meer vracht kan vervoeren dan een drone, is de drone nog steeds groener in termen van uitstoot. De bestelwagen is door de grotere laadcapaciteit wel acht keer efficiënter op vlak van energieverbruik, maar omdat dieselmotoren veel vervuilender zijn, is een bestelwagen nog altijd 2,8 keer minder efficiënt wat de uitstoot van broeikasgassen betreft. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de prestatieingenomen uit het onderzoek van (Figliozzi, 2018).

Tabel 1 Overzicht van prestatieingenomen van bestelwagens en drones (Figliozzi, 2018).

Performance Measure	Unit*	Van (1)	UAV (2)	Ratio (1)/(2)
<i>Energy consumed per unit distance</i>	wh ¹ /km	1.016	21,6	47
<i>Emissions per unit energy consumed</i>	gCO ₂ e/wh	12,6	0,6	21
<i>Emissions per unit energy consumed</i>	kgCO ₂ e/km	12,83	0,012	1.069
<i>Payload</i>	Kg	1.890	5,0	378
<i>Energy consumed per unit distance-load</i>	wh/km-kg	0,54	4,32	0,125
<i>Emissions per unit distance-load</i>	kgCO ₂ e/km-kg	6,79	2,42	2,8

3.1.3.3 One-to-many routes

Dit deel gaat uit van dezelfde bestelwagens en drones die besproken werden in de analyse van de one-to-one routes in de voorgaande sectie. De gemiddelde reisafstand van de verdeelgebieden die de drones moeten bedienen bedraagt maximaal 25 kilometer. Deze afstand bedraagt ongeveer zeventig procent van het maximale theoretische bereik van drones. Aangezien logistieke bedrijven die gebruik willen maken van drones voor hun leveringen ook een veiligheidsmarge dienen in te bouwen, wordt de afstand op deze hoeveelheid begrensd. Omwille van onbekende factoren zoals tegenwind, kan het energieverbruik hoger liggen waardoor een veiligheidsmarge noodzakelijk is om een goede werking te kunnen garanderen (Figliozzi, 2018).

De voorgaande sectie leerde dat de emissies per eenheid verbruikte energie 1.069 keer hoger liggen bij bestelwagens dan bij drones. Het is dan ook niet eenvoudig om routes te vinden waarvoor bestelwagens efficiënter zijn dan drones op vlak van uitstoot. Indien een bestelwagen in één keer 1.069 leveringen kan uitvoeren alvorens terug te keren naar het depot, dan wordt dezelfde uitstoot gegenereerd als een drone die 1.069 keer heen en weer vliegt om telkens één levering uit te voeren

¹ Wh: Wattuur is een eenheid van energie of arbeid. Het leveren van een vermogen van 1 Watt gedurende 1 uur levert een hoeveelheid energie van 1 Wh (Energie - vergelijken, z.d.).

(Figliozi, 2018).

Wanneer bestelwagens elektrisch aangedreven zijn, kunnen ze beter concurreren met drones dan wanneer ze voorzien zijn van een traditionele benzine- of dieselmotor. Omdat de drone en de bestelwagen in deze vergelijking over dezelfde energiebron beschikken, is de relatieve efficiëntie op vlak van energie en uitstoot hetzelfde. In eerste instantie wordt voor de vergelijking uitgegaan van een energieverbruik van 760 wattuur per kilometer voor de bestelwagens en van 21,6 wattuur per kilometer voor drones (Davis & Figliozi, 2013; Feng & Figliozi, 2013). Bij dergelijk energieverbruik worden bestelwagens efficiënter op vlak van zowel emissie- als energie-efficiëntie bij routes met meer dan vijftig klanten en/of leveringsgebieden die relatief klein zijn (Figliozi, 2018).

De laatste jaren zijn elektrische voertuigen veel efficiënter geworden. Op de Europese automarkt is dan ook een steeds breder aanbod aan elektrische bestelwagens beschikbaar. Als voorbeeld wordt de Renault Kangoo Z.E. bekeken. Deze elektrische wagen heeft een laadvermogen van 650 kilogram en verbruikt in normale omstandigheden ongeveer tweehonderd wattuur per kilometer (Renault, 2019). Wanneer rekening gehouden wordt met normale omstandigheden is een drone niet langer efficiënter bij routes in dichtbevolkte leveringsgebieden met meer dan tien klanten. De elektrische bestelwagen kan maar liefst 120 keer meer vracht vervoeren (Figliozi, 2018).

3.2 De uitdagingen voor drones

Na het beschrijven van de voordelen die drones kunnen bieden voor ondernemingen, wordt in dit onderdeel onderzocht welke uitdagingen zich momenteel aanbieden voor drones. Allereerst worden de prestaties onderzocht, vervolgens worden de veiligheid, eventuele geluidshinder, privacy en regelgeving geanalyseerd.

3.2.1 Prestaties

Alvorens bedrijven zullen overstappen op het gebruik van drones voor het uitvoeren van leveringen, zullen ze zeker willen zijn dat de prestaties van de drones naar behoren zijn. Omdat het gebruik van drones nog in een testfase zit, zullen heel wat ondernemingen dus nog overtuigd moeten worden alvorens ze zullen overstappen op deze manier van transporteren (Figliozi, 2018).

De productiviteit van drones wordt gemeten als het aantal leveringen die een drone kan uitvoeren in één uur tijd. Dat aantal zal afhankelijk zijn van heel wat factoren. Om de hoogste productiviteit te behalen, moeten drones continu kunnen vliegen. In realiteit is dat echter onmogelijk. Zo dienen de drones ingesteld te worden alvorens ze kunnen vertrekken, moeten de pakketten opgehaald en afgeleverd worden en moeten de batterijen opgeladen of vervangen worden. De gemiddelde insteltijd per zending wordt geschat op zes minuten. Rekening houdend met de voorgaande factoren wordt verondersteld dat drones jaarlijks gemiddeld duizend leveringen per vierkante kilometer zullen kunnen uitvoeren. Deze schatting is gebaseerd op enkele assumpties. Voor het bereik van de drones wordt uitgegaan van dertig kilometer. Daarnaast wordt rekening gehouden met een cirkelvormig servicegebied en een homogene verdeling van de vraag (Figliozi, 2018).

3.2.2 Veiligheid

Ondanks dat drones voordelen bieden op vlak van veiligheid doordat ze het aantal bestelwagens in drukke gebieden kunnen verminderen en zo verkeersongevallen kunnen reduceren, moeten toch ook een aantal bedenkingen gemaakt worden bij de veiligheid van drones (Arterburn, Ewing, Prabhu, Zhu, & Francis, 2017). Zo kan een drone bijvoorbeeld defect geraken wanneer deze in de lucht circuleert en bij de val schade berokkenen aan eigendommen of personen (Bernauw, 2016).

Een onderzoek in opdracht van de Federal Aviation Administration duidt drie kenmerken aan van drones die dodelijke botsingen beïnvloeden. Deze drie voertuigkenmerken zijn: kinetische energie, ontstekingsbronnen op basis van voertuigvermogenssystemen en roterende onderdelen zoals de propellers van drones. Uit onderzoek blijkt dat de kinetische energie een evenredig verband heeft met het startgewicht en de vliegsnelheid van de drones. Daarnaast kunnen objecten zoals de accu, de motor en de potentiële lading omwille van hun dichtheid de ernst van de impact sterk beïnvloeden. Tot slot kunnen ook de propellerbladen van de drones ernstige verwondingen aanbrengen, omdat ze door de huid van eventuele slachtoffers kunnen snijden (Arterburn et al., 2017).

Verder kunnen drones volgens Bernauw (2016) ook door mensen met slechte bedoelingen ingezet worden. Zo kunnen ze onder andere gebruikt worden voor illegale activiteiten of voor het plegen van terreurdaden. Het is hierdoor noodzakelijk dat een drone en zijn bestuurder geregistreerd worden, om in het geval van een misdrijf, de misdadiger te kunnen aanduiden. Met andere woorden dient volgens Kopetz (2011) een systeem voor de authenticatie van drones en hun bestuurder ontwikkeld te worden.

Daarnaast treden vaak ook problemen op met de beveiliging van het dronenetwerk. Drones die verbonden zijn met het internet zijn kwetsbaar en dienen beveiligd te worden. Bovendien moet ook vermeden worden dat het GPS-signaal van de onbemande luchtvaartuigen verstoord kan worden door zogenoemde "jammers". Dit zijn toestellen die gsm- of wifi-signalen kunnen blokkeren om op deze manier een drone te hacken. Om deze gevaren tegen te gaan, zijn oplossingen nodig. Een oplossing zou kunnen zijn om een drone van meerdere navigatiesystemen te voorzien (Kopetz, 2011).

3.2.3 Geluidshinder

Drones maken een zoemend geluid wanneer ze door de lucht vliegen. Voor stedelijke leveringen kan dat mogelijks problemen opleveren. Ook op operationeel vlak kan geluidshinder beperkingen opleggen voor het gebruik van drones. Zo kunnen de werksuren beperkt worden zodat 's morgens en 's avonds geen hinder is voor omwonenden. Onderzoek wijst namelijk uit dat geluidshinder een negatieve invloed heeft op gemeenschappen en de waarde van gronden rond toekomstige dronedepots (Nelson, 1979). Tot op heden is echter nog onvoldoende onderzoek uitgevoerd naar de ernst van ruis afkomstig van drones (Bulusu, Polishchuk, & Sevod, 2017). Op vlak van gezondheid is echter wel al duidelijk in kaart gebracht wat de eventuele negatieve effecten van geluidshinder zijn (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000; Stansfeld & Matheson, 2003).

Volgens onderzoek van Bouland et al. (2018) heeft geluidshinder onderstaande negatieve gevolgen voor de gezondheid:

- Gehoorschade zoals oorsuizen (tinnitus) of lawaaidoofheid
- Verstoring van sociaal gedrag (toename van agressiviteit, protest)
- Slaapstoornissen zoals minder diep slapen, moeilijk inslapen en meer bewegingen
- Stress
- Cardiovasculaire aandoeningen en verhoogde bloeddruk
- Zintuiglijke gevolgen
- Leerproblemen, concentratieproblemen en problemen met mondelinge communicatie

3.2.4 Privacy

Drones kunnen door middel van hun kenmerken ervaren worden als een privacy probleem. De toestellen kunnen zeer laag vliegen, zijn relatief klein en gaan gepaard met relatief weinig geluidshinder in vergelijking met andere luchtvaartuigen. Door deze kenmerken kan gemakkelijk binnengedrongen worden in de persoonlijke levenssfeer van andere mensen. Op die manier kan de privacy eenvoudig geschonden worden (Altawy & Youssef, 2016; Bernauw, 2016). Het is natuurlijk niet de intentie van ondernemingen om de privacy van mensen te schenden, maar andere dronegebruikers kunnen de luchtvaartuigen wel met slechte intenties gebruiken. Bovendien is het zo dat indien meer drones gebruikt worden, het steeds moeilijker wordt om drones van wetovertreders te onderscheiden van drones die gebruikt worden binnen het wettelijke kader (Altawy & Youssef, 2016).

3.2.5 Regelgeving

In de Verenigde staten werd in 2016 het niet-recreatief gebruik van drones beperkt door de Federal Aviation Administration. Door deze beperking werd het gebruik van drones voor goederenvervoer verboden. Sommige beperkingen hebben geen invloed op de voordelen die het gebruik van drones biedt. Andere beperkingen daarentegen zorgen ervoor dat het veel minder interessant wordt om drones te gebruiken voor goederenvervoer. Zo is het bijvoorbeeld verplicht dat drones altijd bediend worden met behulp van een visuele zichtlijn. Door deze maatregel wordt de omvang van het servicegebied zeer sterk beperkt. Zo kunnen drones niet ingezet worden in beboste, heuvelachtige of dichtbebouwde gebieden. Uit sectie 3.1.4 blijkt echter dat net in die dichtbebouwde gebieden drones efficiënt ingezet kunnen worden omwille van een hoge klant dichtheid. Daarnaast wordt door de verplichte visuele zichtlijn het voordeel dat drones onbemand kunnen vliegen geneutraliseerd (Figliozzi, 2018).

De Federal Aviation Administration werkt op dit moment samen met NASA, de Amerikaanse nationale ruimtevaartorganisatie, om onderzoek te doen naar wanneer en in welke hoedanigheid drones ingezet kunnen worden in het Amerikaanse nationale luchtruim. Daarnaast werkt NASA momenteel aan een luchtverkeersmanagementsysteem voor drones. Dit systeem valt te vergelijken met het systeem dat op dit moment gebruikt wordt om het huidige luchtverkeer in goede banen te leiden. Zo'n systeem is van cruciaal belang voor het gebruik van drones. Dat systeem zorgt namelijk voor

de organisatie van de verschillende paden van de luchtvaartuigen. Op die manier wordt vermeden dat toestellen neerstorten, tegen elkaar vliegen of vliegen in verboden zones. Een duidelijk regelgevend kader zal naar verwachting het grootschalige gebruik van drones versnellen (Figliozi, 2018).

De Belgische en Europese wetgeving omtrent dronegebruik worden in sectie 3.4 in detail besproken.

3.3 Kostenanalyse

In dit onderdeel wordt een kostenanalyse gemaakt van drones. De kosten van drones hebben een positief lineair verband met de gevlogen uren en de totale tijd dat drones ingezet worden (Swan & Adler, 2006). In sectie 3.3.1 worden de verschillende kosten van dronegebruik in kaart gebracht. Dit vormt de basis voor de berekening van de kostprijs per vlieguur in sectie 3.3.2.

3.3.1 Kosten van dronegebruik

De kosten van drones bestaan enerzijds uit vaste kosten en anderzijds uit variabele kosten (Figliozi, 2018). In dit deel worden eerst de arbeidskosten besproken. Vervolgens worden de aankoopkosten, de energiekosten en kosten voor communicatie en software uiteengezet. Tot slot worden kort de overige kosten van dronegebruik aangehaald.

3.3.1.1 Arbeidskosten

Het is niet eenvoudig om het aantal personeelsleden en de loonkostenvariabelen per drone te kwantificeren. Zo hebben de loonkosten niet alleen betrekking op de lonen, maar moet de loonkost ook de extralegale voordelen, de kosten van opleiding en de kosten van personeelsverloop behelzen. Ook de regelgeving heeft een belangrijke impact op het aantal personeelsleden die in dienst genomen moeten worden. In sectie 3.2.5 werd de huidige regelgeving kort beschreven. In de Verenigde Staten is het bijvoorbeeld verplicht dat drones bediend worden met behulp van een visuele zichtlijn. Indien deze regels versoepeld zouden worden, zouden bedrijven veel minder personeelsleden moeten aannemen voor de bediening van drones dan nu. Doordat werknemers meerdere drones tegelijk zouden kunnen besturen, stijgt hun productiviteit namelijk drastisch. Op basis van de loonkosten in de vrachtvervoersector wordt de totale kostprijs geschat op 35 euro per uur per drone. Deze kostprijs omvat naast de personeelskosten van de dronebestuurders ook de loonkost van het ondersteunend personeel zoals onder andere de onderhoudstechnici, de administratieve medewerkers en het personeel van de klantenservice (Figliozi, 2018).

Bedrijven dienen gespecialiseerd personeel zoals onderhoudstechnici aan te nemen die routinematig onderhoud kunnen uitvoeren, problemen kunnen opsporen en indien nodig onderdelen kunnen repareren of vervangen. Wanneer de kostprijs gebaseerd wordt op gemiddelden uit de luchtvaartindustrie dan kan de loonkost voor onderhoudstechnici hoog oplopen. De vergoeding van vliegtuigmonteurs kan oplopen tot zeventig euro per uur, terwijl de vergoeding van elektronicamonteurs gemiddeld tachtig euro per uur bedraagt (Perritt & Sprague, 2016).

3.3.1.2 Aankoopkosten

De aanschafwaarde van een drone wordt beïnvloed door de grootte en de tarra van het vaartuig (Perritt & Sprague, 2016). Ondanks beperkt onderzoek om de levensduur van kleine drones te ramen, is het nog steeds moeilijk om de economische levensduur van de onbemande luchtvaartuigen te bepalen. In onderzoek van Perritt & Sprague (2016) wordt aangenomen dat een levenscyclus van één jaar zonder restwaarde een redelijke assumptie is. Onderzoek van Welch (2015) gaat echter uit van een levensduur van vijf jaar. Naast de prijs van de drone en de algehele levensduur zijn ook de kostprijs en levensduur van de batterij belangrijke elementen om de kostprijs te bepalen. Zoals te verwachten is een positief lineair verband zichtbaar tussen het energievermogen van de accu en de prijs. Daarnaast moet bij de accu's rekening gehouden worden met een levensduur van gemiddeld vijfhonderd laad-/ontlaadcycli alvorens ze vervangen dienen te worden (Figliozzi, 2018).

3.3.1.3 Energiekosten

In onderzoek van Figliozzi (2018) worden de gemiddelde elektriciteitskosten van drones geschat op 0,13 euro per vlieguur. In dat onderzoek werd gebruikgemaakt van drones met elektrische aandrijfsystemen. Gebaseerd op de grootte van de drones ontstond de mogelijkheid om een goede inschatting te maken van het energieverbruik en de elektriciteitskosten per vlieguur. Om een schatting te maken van de kosten werd een combinatie gemaakt van de gemiddelde prijs van een kilowattuur aan energie en het gemiddelde energieverbruik van drones.

3.3.1.4 Kosten voor communicatie en software

Momenteel is het nog verboden om drones te gebruiken zonder visuele zichtlijn waardoor de kosten voor communicatie en software eerder beperkt zijn. Voor bedrijven zou het veel interessanter zijn om drones te gebruiken indien deze wetgeving versoepeld wordt. De productiviteit van de dronebestuurders zou dan aanzienlijk toenemen omdat ze meerdere drones tegelijkertijd kunnen besturen. Bij een eventuele versoepeling van de wet zullen de kosten voor communicatie en software wel toenemen. Wanneer drones bestuurd worden zonder visuele zichtlijn zal geavanceerde software nodig zijn om eventuele botsingen en andere problemen te voorkomen. Daarnaast zal ook meer hardware aanwezig moeten zijn in de onbemande luchtvaartuigen zoals sensoren, gegevensverwerkingschips en communicatieapparatuur (Figliozzi, 2018).

3.3.1.5 Overige kosten

Naast de kosten die in de voorgaande secties werden beschreven, moeten bedrijven rekening houden met een aantal andere vaste kosten. Deze kosten bevatten de opslagkosten van drones, de kostprijs van de faciliteiten en de kosten van ondersteunende diensten (Figliozzi, 2018).

3.3.2 Kostprijs per vlieguur

In dit onderdeel wordt op basis van de reeds besproken kosten een schatting gemaakt van de kostprijs per vlieguur voor drones. Uit onderzoek blijkt dat de energiekosten minimaal zijn. De batterijkosten zijn daarentegen een veel grotere kostenpost, maar de personeelskost is het voornaamst. De kostprijs zal dan ook sterk afhankelijk zijn van eventuele versoepelingen van de wetgeving. Zoals besproken werd in sectie 3.3.1.1 kan de efficiëntie van de werknemers sterk

toenemen indien de verplichting van een visuele zichtlijn vervalt. Om dit aan te tonen worden hierna twee scenario's beschreven (Figliozi, 2018).

In het eerste, meest gunstige scenario wordt de regelgeving versoepeld waardoor één werknemer tien drones tegelijk kan besturen. Hierbij wordt ook rekening gehouden met het onderhoudspersoneel dat nodig is en bevat zo naast dronebestuurders ook technici en klantendienstmedewerkers. In tabel 2 worden de kosten van het eerste scenario weergegeven. Hierbij valt op te merken dat zelfs in dit optimistische scenario de personeelskosten meer dan dertig procent van de totale kost omvatten (Figliozi, 2018).

Voor situatie twee wordt verondersteld dat de regulering ongewijzigd blijft. In dat geval zal één medewerker minder dan één drone tegelijkertijd kunnen besturen, omdat opnieuw rekening gehouden wordt met het ondersteunend personeel. In dit scenario ligt de efficiëntie dus veel lager. Concreet betekent dit dat één werknemer 0,90 drones kan besturen. In dat geval stijgt het kostenaandeel van de personeelskosten tot meer dan 85 procent (Figliozi, 2018).

Tabel 2 Situatie 1: 10 drones per werknemer (Figliozi, 2018).

<i>Uitgavenpost</i>	<i>Kostprijs per uur</i>	<i>Gewicht (percentage)</i>
<i>Drone</i>	€ 5,01	37,2%
<i>Batterij</i>	€ 3,65	27,1%
<i>Energie</i>	€ 0,13	1,0%
<i>Personeelskost</i>	€ 4,69	34,8%
<i>Totaal</i>	€ 13,48	100%

Tabel 3 Situatie 2: 0,90 drones per werknemer (Figliozi, 2018).

<i>Uitgavenpost</i>	<i>Kostprijs per uur</i>	<i>Gewicht (percentage)</i>
<i>Drone</i>	€ 5,01	8,2%
<i>Batterij</i>	€ 3,65	6,0%
<i>Energie</i>	€ 0,13	0,2%
<i>Personeelskost</i>	€ 52,04	85,6%
<i>Totaal</i>	€ 60,83	100%

3.4 Wettelijk kader

Wanneer bedrijven drones willen gebruiken, is het noodzakelijk dat ze opereren binnen het wettelijk kader. Door de toenemende interesse in drones bezonnen zowel de Belgische als de Europese wetgevers zich enige tijd over eventuele wetswijzigingen. Vanaf juli 2020 zal zich een grote verandering voordoen binnen het wettelijk kader door de invoer van de nieuwe Europese dronewetgeving (EUKA, 2019). In deze sectie wordt eerst een omschrijving gegeven van het wettelijk kader dat momenteel van toepassing is tot 1 juli 2020 in sectie 3.4.1. Vervolgens gaat sectie 3.4.2 in op de invoer van de Europese wetgeving en de gevolgen voor de nationale wetgevingen. Tot slot bekijkt sectie 3.4.3 de wetgeving omtrent privacy in functie van dronegebruik.

3.4.1 Huidige dronewetgeving

In de Belgische wetgeving wordt nergens gerefereerd naar "drones". Daarentegen wordt gebruikt gemaakt van de term "RPA" (Remotely Piloted Aircraft) voor individuele drones of "RPAS" (Remotely Piloted Aircraft System) voor volledige dronesystemen (Koninklijk besluit met betrekking tot het gebruik van op afstand bestuurd luchtvaartuigen in het Belgisch luchtruim, 2016, artikel 1).

3.4.1.1 Belgische wetgeving

In de meest recente Belgische wetgeving uit 2016 wordt het wettelijk kader omschreven waarbinnen drones gebruikt mogen worden en aan welke voorwaarden voldaan moet worden (Durinck & Van Hoyweghen, 2018).

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste bepalingen uit het Belgisch wettelijke kader met betrekking tot de verschillende klassen waarin drones worden onderverdeeld.

Tabel 4 Klassenindeling van drones (Durinck & Van Hoyweghen, 2018).

	RECREATIEF	KLASSE 2	KLASSE 1B	KLASSE 1A
LEEFTIJD PILOOT	Alle leeftijden	16+	18+	18+
MAXIMALE GEWICHT DRONE	< 1 kg	< 5 kg	< 150 kg	< 150 kg
MAXIMALE HOOGTE	10 meter	45 meter	91 meter	91 meter
VLIEGZONES	Privéterrein & modelluchtvaart-terrein	Buiten steden & dorpen	Buiten steden & dorpen	Buiten steden & dorpen
COMMERCIEËLE VLUCHTEN	Niet toegestaan	Toegestaan	Toegestaan	Toegestaan
VERZEKERING	-	BA-verzekering	BA-verzekering	BA-verzekering
REGISTRATIE DRONE BIJ DGLV	-	Verplicht	Verplicht	Verplicht
OPLEIDING VERGUNNING	Theoretische opleiding & praktijkexamen	Theoretische opleiding, praktijkexamen & medisch certificaat	Theoretische en praktijkexamen & medisch certificaat	Theoretische en praktijkexamen & medisch certificaat

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat de Belgische wetgeving drones onderverdeelt in drie verschillende categorieën op basis van het risiconiveau. Voor elke klasse worden door de Belgische overheid verschillende vereisten gespecificeerd:

- De operationele hoogte waarbinnen de drone mag vliegen
- Plaatsbepalingen waar de drones mogen opereren
- Voorwaarden waaraan voldaan moeten worden om met de drones te mogen vliegen

Hierbij valt op te merken dat het risiconiveau bepalend is voor de mate van beperkingen en regels die worden opgelegd door de wetgever (Belgische Drone Federation, z.d.). Daarnaast is het bij wet verboden om drones in te zetten die volledig autonoom opereren en waarbij de controle niet kan overgenomen worden door een piloot (Rosa, O'Brien & Vermeiren, 2018).

In de voorgaande klassenverdeling van de Belgische wetgeving zijn geen bepalingen terug te vinden over drones met een gewicht boven de 150 kilogram. De regulatie van drones die meer dan 150 kilogram wegen, gebeurt momenteel door de European Aviation Safety Agency (EASA). Voor het gebruik van drones in gebouwen of door overheidsinstanties worden door de Belgische wetgeving geen restricties opgelegd (Rosa, O'Brien & Vermeiren, 2018).

3.4.1.2 Internationale wetgeving

De internationale wetgeving omvat opvallend genoeg nergens de term "drone". De wetgever gebruikt daarentegen de termen "UAS" (Unmanned Aerial System) en "UAV" (Unmanned Aerial Vehicle). De term "UAV" omvat enkel de drone zelf, terwijl de term "UAS" daarnaast ook het controlesysteem omvat (Custers, 2016).

Momenteel bestaan op Europees niveau enkel wettelijke richtlijnen maar nog geen Europese wetgeving. Deze richtlijnen stemmen overeen met de klassenverdeling die behandeld werd in sectie 3.4.1 over de Belgische wetgeving. Door een gebrek aan een Europees wettelijk kader stelden de verschillende lidstaten tot nu toe op onafhankelijke wijze hun wetgeving op zonder onderlinge afstemming (Bernauw, 2016). Het gebrek aan afstemming leidt binnen de Europese Unie tot grote verschillen op vlak van dronewetgeving. Zo bepaalden Polen, Frankrijk en Spanje net zoals België dat een drone een maximumgewicht van 150 kilogram mag hebben. Denemarken, Finland, Portugal en Litouwen leggen de grens van het maximumgewicht echter op slechts 25 kilogram (Rosa, O'Brien & Vermeiren, 2018). Deze en andere grote verschillen tussen nationale wetgevingen resulteren in onzekerheden die een negatieve invloed uitoefenen op de ontwikkeling van een Europese dronemarkt. De drone-industrie vindt het belangrijk dat eerst meer duidelijkheid gecreëerd wordt door middel van een Europese wetgeving alvorens over te gaan tot investeringen (Bernauw, 2016).

3.4.2 Invoer nieuwe Europese wetgeving

De nieuwe Europese wetgeving die in werking treedt in juli 2020, zal heel wat veranderingen met zich meebrengen. Om deze duidelijk te kunnen uitleggen, is het beter om terug volledig opnieuw te beginnen. Doordat de fundering van de wetgeving zo sterk wijzigt, is het immers onbegonnen werk om naar overeenkomsten te zoeken tussen de huidige Belgische wetgeving en de toekomstige Europese wetgeving (EUKA, 2019).

Waar de Belgische wetgeving eerder uitgaat van het feit dat niks mag tenzij het door middel van wettelijke bepalingen wel mag, gaat de Europese wetgeving omgekeerd te werk. Alles omtrent

drones mag met uitzondering van de wettelijke bepalingen die niet mogen. Dit valt vooral op in de "open categorie" (EUKA, 2019).

De grootste verandering is dat drones niet langer gecategoriseerd zullen worden op basis van gewicht. Het is niet langer van belang met welk type drone je vliegt en dus ook niet meer hoeveel kilogram dat type drone weegt. Wat wel van belang is, zijn de risico's die de vlucht met zich meebrengt. In de Europese wetgeving zijn daarom drie vluchtcategorieën opgenomen op basis van het risico (EUKA, 2019). De parameters die volgens EUKA (2019) belangrijk zijn voor de bepaling van de mate van risico die een vlucht met zich meebrengt zijn onder meer:

- de hoogte van de vlucht;
- de afstand tot gebouwen en mensen;
- de aanwezigheid van een visuele zichtlijn tussen de piloot en zijn drone.

Op basis van de bovenstaande parameters bepaalt de Europese wetgeving tot welke vluchtcategorie een bepaalde dronevlucht behoort. Deze drie vluchtcategorieën worden hieronder concreet en in detail besproken.



Figuur 4 Vluchtcategorieën volgens de nieuwe Europese wetgeving voor drones (EUKA, 2019).

Allereerst wordt de open categorie besproken. Deze categorie houdt vluchten in met een laag risico. Dit type vluchten vereist geen aanvraag of notificatie. Zo is het mogelijk om met een drone te vliegen tot 25 kilogram tot op een hoogte van 120 meter zolang de vlucht niet boven een mensenmassa plaatsvindt (EUKA, 2019).

In de open categorie bestaan wel nog enkele subcategorieën. Zo wordt op basis van de afstand tot mensen een indeling gemaakt in de subcategorieën A1 tot en met A3. Daarnaast worden de drones gecategoriseerd in de subcategorieën CO tot en met C4 op basis van hun klasse of gewicht. Deze onderverdeling heeft enkele gevolgen voor dronevluchten. Zo moet een zwaardere drone in deze categorie bijvoorbeeld steeds op zeer ruime afstand blijven van mensen. Ook is de onderverdeling bepalend voor de mate van opleiding die gevolgd dient te worden. Voor een zeer lichte drone met een massa lager dan 250 gram bestaat bijvoorbeeld geen minimumleeftijd of vereiste opleiding. Voor iets zwaardere drones tot en met 900 gram is wel online training verplicht waarbij een test dient afgelegd te worden (EUKA, 2019).

Van de open categorie wordt overgegaan naar de categorie "gecertificeerd". In deze categorie wordt de wetgeving meteen veel strikter dan in de vorige categorie. Dit is te wijten aan het feit dat deze categorie vluchten inhoudt met een hoog risico en daardoor meteen dicht aanleunt tegen de bemande luchtvaart. Bijgevolg vereist iedere vlucht in de gecertificeerde categorie een goedkeuring van de bevoegde instanties. Daarnaast zal ook te allen tijde een risicoanalyse van de vlucht uitgevoerd worden (EUKA, 2019).

Alle vluchten die niet tot de voorgaande categorieën behoren, worden tot slot ingedeeld in de specifieke categorie. Voorbeelden van dit soort vluchten zijn vluchten met goederen, vluchten in de directe nabijheid van mensen of vluchten waarbij drones de kaap van 120 meter hoogte overschrijden. Dit type vluchten moet bijgevolg goedgekeurd worden, gebaseerd op een risicoanalyse. In de aanloop van de wetwijziging is de Europese Unie wel nog bezig met het opmaken van verschillende standaardscenario's. Indien de piloot de omschreven parameters en omstandigheden van deze scenario's volgt, dan is enkel een notificatie vereist (EUKA, 2019).

3.4.2.1 Voordelen en uitdagingen van de nieuwe Europese wetgeving

De invoer van de Europese wetgeving op 1 juli 2020 biedt voornamelijk binnen de open categorie heel wat mogelijkheden. Zo wordt het mogelijk om na de aankoop van een drone en het invullen van een online test een hele waaier aan opdrachten uit te voeren tot op 120 meter hoogte. Voor veel van deze opdrachten is tot op heden nog een pilotenlicentie nodig. Het is dan ook duidelijk dat het veel gemakkelijker wordt voor eigenaars van een drone om dit soort opdrachten uit te voeren. Dit zal een forse stijging van het aantal concurrenten met zich meebrengen in de open categorie (EUKA, 2019).

Verder wordt het door middel van de nieuwe wetgeving ook veel eenvoudiger om in het buitenland te opereren. Dat leidt enerzijds tot mogelijkheden voor Belgische dronepiloten, maar zorgt ook voor een mogelijke bedreiging door andere Europese piloten van ondernemingen die in hun land al veel verder staan op vlak van ontwikkeling (EUKA, 2019).

3.4.3 Privacywetgeving

In mei 2018 vond op Europees niveau een grote verandering plaats in de wetgeving omtrent de privacy door de invoer van de GDPR-wetgeving. Deze wetgeving staat voor de afkorting "General Data Protection Regulation" en werd in leven geroepen ter regularisatie van de algemene databescherming. Voor de invoer van deze wetgeving behandelden twee standaarden de privacy. Deze standaarden waren echter niet in staat om de privacyrisico's van drones te reguleren volgens onderzoek van Pauner, Kamara en Viguri, (2015). In dat onderzoek werden bijgevolg de onderstaande aanbevelingen gedaan die volgens de onderzoekers noodzakelijk waren om de privacy risico's van drones in te dijken. De zes aanbevelingen van Pauner et al. (2015) zijn:

- Verplichting tot verwittiging van de betrokken persoon over wie de data handelt.
- Verplichte openbare informatie over:
 - de identiteit van de dataverzamelaar;
 - de reden van de data-verzameling;

- de verwerking van de data.
- Verplichte openbare informatie over:
 - de toegangsmogelijkheden tot de betreffende data;
 - de rechten om de betreffende data te laten verwijderen;
 - het recht om tegen de dataverzameling in te gaan.
- Opzet van aansprakelijkheidsmodellen zodat de aansprakelijkheid duidelijk geregeld is indien iets fout loopt.
- Verplichting om slechts de minimale hoeveelheid data te verzamelen die nodig is.
- Verplichting om de data op een veilige, integere en vertrouwelijke manier op te slaan zodat de data niet in verkeerde handen terechtkomt.

Met de invoer van de GDPR-wetgeving is het de bedoeling van de Europese Unie om dataverzameling op een veilige en geïnformeerde manier te laten verlopen. Omdat drones enorme hoeveelheden data verzamelen en verwerken, heeft deze wetgeving dan ook een grote impact op drones. Pauner et al. (2015) maakten een samenvatting van de drie belangrijkste invloeden van de GDPR-wetgeving op dronegebruik:

1. Transparantie omtrent de verzameling, opslag, verwerking en verspreiding van data. Door de GDPR-wetgeving wordt een duidelijke verplichting opgelegd aan dronegebruikers om toestemming te vragen aan personen waarover data wordt verzameld.
2. De GDPR-Wetgeving verplicht dat dataverzameling niet doelloos mag gebeuren. Naast de verplichting dat een duidelijk doel voor ogen moet zijn, mag de data niet op andere wijze gebruikt worden dan gespecificeerd is in de aanvraag tot dataverzameling.
3. Volgens de GDPR-wetgeving is het verplicht om de data die door de drones wordt opgeslagen te beveiligen. Daarnaast is het ook verplicht om de data, na gebruik binnen het vooropgestelde doel, te verwijderen of te anonimiseren zodat deze niet op illegale wijze vrijgegeven kan worden.

Het is duidelijk dat de GDPR-wetgeving een oplossing biedt op de tekortkomingen die door Pauner et al. (2015) werden aangehaald.

4. Dronetoepassingen in Vlaanderen

België is dankzij haar ligging voor veel ondernemingen strategisch gezien een optimale locatie om hun distributiecentra te lokaliseren. Vooral de regio Vlaanderen heeft zich dan ook steeds meer toegelegd op logistieke dienstverlening (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017). Volgens Statistiek Vlaanderen (2019) was de sector in 2017 dan ook goed voor om en bij de 117.000 jobs. Op die manier levert de sector zelfs meer dan vier procent van alle jobs in Vlaanderen.

De logistieke sector ziet veel potentieel in het gebruik van drones om in te spelen op de actuele uitdagingen. Het strategisch onderzoekscentrum Flanders Make zet bijvoorbeeld volop in op onderzoek naar de mogelijkheden om drones in te zetten voor zowel indoor als outdoor gebruik van drones. Binnen dit onderzoek focust Flanders Make zich hoofdzakelijk op kleine en middelgrote ondernemingen. Ook de Vlaamse overheid speelt hierin een belangrijke rol. Zo kaderen de onderzoeken van Flanders Make op vlak van dronegebruik binnen het "Smart Connectivity" project van de overheid. In functie daarvan worden onder andere workshops en masterclasses georganiseerd. Deze moeten ondernemingen overtuigen van dronetechnologie, door de voordelen duidelijk in kaart te brengen (Made in Limburg, 2020).

De Vlaamse economie is zoals eerder aangegeven sterk gericht op de logistieke sector. De Vlaamse overheid is dan ook steeds op zoek naar manieren om deze sector te faciliteren en zo ondernemingen te overtuigen om zich te vestigen in de regio. De droneprojecten die de overheid uitvoert in samenwerking met Flanders Make zouden echter nooit zo succesvol zijn geweest zonder de steun van de dronese sector die in Vlaanderen sterk in opmars is. Zo is de Vlaamse Drone Federatie EUKA samen met incubatoren zoals DronePort in Sint-Truiden een vitale partner. Voor de regio is de samenwerking tussen de logistieke sector en de dronese sector zeer interessant. Binnen deze samenwerking kunnen de sterke aspecten van de bloeiende dronese sector ervoor zorgen dat Vlaanderen zich op logistiek vlak verder kan onderscheiden van andere regio's die ook beschikken over een strategische ligging (Made in Limburg, 2020).

In dit sluitstuk van de masterproef wordt onderzocht hoe drones de Vlaamse logistieke sector kunnen bijstaan om haar concurrentieel voordeel verder uit te bouwen. Hierbij worden de actuele uitdagingen van de logistieke sector in kaart gebracht. Daarbij wordt bekeken hoe de sector door middel van drones kan inspelen op deze uitdagingen.

4.1 Congestieproblematiek

Door het grote aantal logistieke bedrijven die zich in Vlaanderen hebben gevestigd, geraken de wegen in Vlaanderen steeds meer verzadigd. Vracht- en bestelwagens verliezen op die manier steeds vaker tijd in de files. Dit leidt tot problemen in de planning, vertraagde leveringen en extra kosten. Voornamelijk rond stadscentra en tijdens de spitsuren wordt veel tijd verloren. Op de Antwerpse wegen verliezen automobilisten per dag gemiddeld meer dan een halfuur tijd ten gevolge van congestie. Op de Brusselse wegen loopt dit gemiddelde zelfs op tot driekwartier per dag. Deze tijdsverliezen zullen, zonder structurele veranderingen, de komende jaren echter alleen nog maar oplopen (De Moor, Immers, Bellemans, & Logghe, 2001; Vias Institute, 2019).

Uit onderzoek van Vias institute (2019) blijkt dat tegen 2030 het totale verplaatsingsvolume zal stijgen met tien procent in vergelijking met 2008. Deze stijging in het volume zal volgens berekeningen enerzijds het gevolg zijn van een stijging in het personenvervoer met 11 procent en anderzijds een stijging in het goederenvervoer met 45 procent. Om te kunnen concurreren met andere regio's zullen dus oplossingen gezocht moeten worden. Voor ondernemingen kost het immers 80 euro wanneer een vrachtwagen gedurende één uur stilstaat in de file (Verbond van Belgische Ondernemingen, 2017).

Naast de economische gevolgen heeft congestie ook een impact op de veiligheid en het welzijn van logistieke medewerkers. Congestie leidt omwille van grote snelheidsverschillen namelijk tot een toename van het aantal ongevallen. Bestuurders van vracht- en bestelwagens lopen daardoor steeds meer risico op verkeersongevallen wat zorgt voor een verminderde veiligheid en een negatieve uitstraling van het beroep. Daarenboven leiden files en vertragingen ook tot frustraties. Logistieke medewerkers die instaan voor de levering van pakketten moeten vaak een strakke planning volgen waardoor zelfs kleine tijdsverliezen leiden tot stress (Vias institute, 2019).

Drones kunnen mogelijks een oplossing zijn voor de congestieproblemen. In sectie 3.1.1 werd reeds aangehaald dat drones in steden kunnen ingezet worden om gebieden met veel congestie te vermijden. Doordat drones in deze gebieden de distributie gedeeltelijk of volledig kunnen uitvoeren, zouden minder vracht- en bestelwagens gebruikt worden waardoor het wegennet ontlast wordt.

Drones kunnen echter ook nog op een andere manier bijdragen aan het verminderen van congestie op de Vlaamse wegen. Ze zouden namelijk ingezet kunnen worden om in realtime toezicht te houden op het verkeer. De drones zouden op die manier een vervanging kunnen zijn voor de complexe infrastructuur die momenteel gebruikt wordt om het verkeer op de wegen in kaart te brengen. Omwille van hun mobiliteit kunnen drones eenvoudig grote gebieden in kaart brengen. Hierdoor beschikken drones over troeven waarover klassieke meetinstrumenten niet beschikken (Khan, Alvi, Safi, & Khan, 2018).

Zoals reeds beschreven werd, neemt de verkeersdruk in Vlaanderen steeds meer toe. Om congestie te kunnen reduceren heeft Vlaanderen dan ook nood aan een state-of-the-art controlesysteem. Dat systeem moet in staat zijn om op accurate wijze informatie ter beschikking te stellen over de verkeersdoorstroming en eventuele verkeersongevallen. In Denemarken bestaat zo een systeem reeds. Deens consultancybureau COWI is een pionier op het vlak van dronetechnologie en maakt aan de hand van deze technologie analyses van de verkeersdoorstroming op het Deense wegennet (Khan et al., 2018).

In Dubai heeft men in 2017 ook besloten om het verkeer in de stad te monitoren aan de hand van drones. Maar ook in Frankrijk zijn al dergelijke toepassingen terug te vinden. De Franse onderneming Elistar Tethered evalueert in Lyon bijvoorbeeld de doorstroom van het verkeer aan de hand van onderstaande drones (Khan et al., 2018).



Figuur 5 Drone die gebruikt wordt in Lyon voor het evalueren van de verkeersdoorstroom (Khan et al., 2018)

In sectie 2.1.3 en 2.1.5 werd aangehaald dat ook andere sectoren zoals de landbouw- en beveiligingssector drones gebruiken om gebieden en situaties in kaart te brengen. De Vlaamse logistieke sector zou in navolging daarvan aan de slag kunnen gaan met drones om de verkeerssituatie in realtime in kaart te brengen. Op die manier kunnen evaluaties gemaakt worden om een betere doorstroming en verminderde congestie mogelijk te maken.

4.2 Milieuvervuiling

Voor de Vlaamse economie vervult de logistieke sector een vitale functie. De sector heeft doorheen de jaren sterk bijgedragen aan het potentieel van de regio. Op economisch gebied is de logistieke sector dan ook zeer bevorderlijk voor Vlaanderen. Al die economische impulsen hebben echter ook een keerzijde. Zo heeft de logistieke sector een grote ecologische voetafdruk. De impact op het milieu is dan ook groot. Vooral in drukbezette stadskernen is die ecologische impact het grootst (Kijewska, Konicki, & Iwan, 2016). Hieruit kan geconcludeerd worden dat in Vlaanderen grote steden zoals Antwerpen, Brussel en Gent het zwaarst getroffen worden door milieuvervuiling.

Drones worden aanzien als een mogelijke oplossing om de ecologische voetafdruk van de logistieke sector te verkleinen. Daarom onderzoekt deze masterproef of het gebruik van drones een positieve invloed kan hebben op de milieuvervuiling.

Onderzoek van Goodchild & Toy (2018) maakt een vergelijking tussen levering via drones of via vrachtwagens op vlak van CO₂-uitstoot en afgelegde afstand. Het onderzoek heeft daarvoor twee verschillende scenario's opgebouwd. Het eerste scenario focust op levering via vrachtwagen, terwijl het tweede scenario gericht is op levering door middel van een drone. Om een zo goed mogelijke vergelijking te maken, zijn de aannames in beide scenario's zo homogeen mogelijk gehouden. Hieronder wordt de werkwijze van het onderzoek van Goodchild & Toy (2018) toegelicht samen met een vergelijkende conclusie op basis van de CO₂-uitstoot van drones en vrachtwagens.

Het onderzoek van Goodchild & Toy (2018) heeft als hoofddoel om na te gaan of drones als

transportmodus een netto positief effect hebben op het milieu in het kader van de CO₂-uitstoot en de afgelegde afstand. Om dit te bepalen hebben de onderzoekers diverse situaties gecreëerd waarin vrachtwagens of drones de levering van pakketten uitvoeren in een circulair servicegebied vertrekkende vanuit een centraal depot. Door de verschillende scenario's te simuleren werden verschillen in kaart gebracht voor de verschillende aanlevermethodes op het gebied van de afgelegde afstanden en de CO₂-emissies.

Uit bovenstaand onderzoek is gebleken dat de milieuvordelen enerzijds sterk afhangen van de gebruikte drones en anderzijds van de routes. Zo hebben de energiebehoeftes, het aantal ontvangers op een route en de afstand tot het depot een grote invloed op de voordelen die drones mogelijk opleveren voor het milieu.

Ondanks dat veel factoren van invloed zijn op de CO₂-uitstoot van drones in vergelijking met vrachtwagens kunnen op basis van het onderzoek van Goodchild & Troy (2018) toch enkele algemene, relevante conclusies gemaakt worden:

1. Drones beschikken over een voordeel op vlak van emissie indien het servicegebied zich in de nabijheid van het magazijn bevindt of indien een beperkt aantal klanten beleverd moeten worden. Ook in een gecombineerd scenario waar zowel het gebied dicht bij het magazijn gelegen is en het aantal klanten beperkt is, zijn drones voordeliger dan vrachtwagens op vlak van CO₂-uitstoot.
2. Indien het servicegebied verder gelegen is van het depot en een groot aantal klanten in hetzelfde servicegebied gelegen zijn, is het niet voordelig om drones in te zetten. Drones moeten na iedere levering terugkeren naar het magazijn omdat ze slecht één pakket per trip kunnen vervoeren. Hierdoor zal voor ieder pakket het traject van en naar het verder gelegen servicegebied afgelegd moeten worden en zal omwille van een groot aantal klanten dit traject ook meermaals afgelegd moeten worden. De drone moet dan veel meer kilometers afleggen dan wanneer een vrachtwagen gebruikt zou worden, waardoor een vracht- of bestelwagen veel efficiënter is op ecologisch vlak.
3. De beste oplossing is om een gecombineerd systeem op te zetten waarbij drones en vracht- of bestelwagens gecombineerd worden voor de distributie van pakketten.

Uit de resultaten van bovenstaand onderzoek kan geconcludeerd worden dat drones inderdaad kunnen ingezet worden om de ecologische voetafdruk van de Vlaamse logistieke sector te verkleinen. Dit zou het geval kunnen zijn wanneer drones op efficiënte wijze worden ingezet in combinatie met reeds bestaande vervoersmodi. Zo zouden lokale distributiecentra gebouwd kunnen worden aan de rand van grote steden zoals Brussel, Gent of Antwerpen. Deze distributiecentra zouden beleverd kunnen worden vanuit een groter centraal gelegen distributiecentrum door middel van vracht- of bestelwagens. Deze vervoersmodi kunnen veel leveringen consolideren en zijn op de lange afstand milieuvriendelijker. De kleinere afstanden tussen de lokale distributiecentra en de eindklanten zouden afgelegd kunnen worden door drones.

4.3 E-commerce

In België neemt, net zoals in de buurlanden, e-commerce steeds meer toe. Indien ondernemingen succes willen boeken op deze markt, moeten ze inspelen op de noden en voorkeuren van bestaande en potentiële klanten. Hierdoor moet het distributiesysteem vaak grondig aangepast worden. Indien producten aangekocht worden in een fysieke winkel is de distributie gebaseerd op het push-to-store principe. De klant is afhankelijk van wat zich in de winkel bevindt en kan enkel de aanwezige producten aankopen. E-commerce is voor klanten daarentegen een zoektocht waarbij ze niet afhankelijk zijn van wat zich in de winkel bevindt. Voor bedrijven is de distributie van hun goederen dan ook een element geworden van hun marketingstrategie. Doordat de markt van de e-commerce veel dynamischer is dan de traditionele markt, moeten ondernemingen hun stabiele distributiestromen substitueren voor kleine, veranderlijke transacties die niet op voorhand vastgelegd zijn. Daarom is de nood aan dynamische transportmodi steeds groter geworden in de Vlaamse logistieke sector (Braem, 2015).

Amazon, de grootste e-commerce onderneming ter wereld, ziet in drones de ideale transportmodus om op dynamische wijze pakketten te distribueren en in te spelen op de behoeften van de klant. Door een klantgeoriënteerde werkwijze wil Amazon haar positie op de e-commercemarkt versterken. Daarom heeft de onderneming recent een zelfontworpen drone voorgesteld die het wilt inzetten voor het leveren van pakketten. Deze drones zijn in staat om maximaal 24 kilometer te vliegen en kunnen op die manier leveringen uitvoeren in een straal van 12 kilometer rond het vertrekpunt. Daarnaast kunnen de drones een levering binnen 30 minuten uitvoeren bij een laadcapaciteit van 2,25 kilogram. Amazon heeft van de Federal Aviation Administration een toelating gekregen om voor één jaar testen uit te voeren. Deze testen zullen uitgevoerd worden bij leveringen van huishoudartikelen. De drones die Amazon zal gebruiken, steunen sterk op artificial intelligence (AI). Deze technologie staat in voor de navigatie van de drones. Zo stelt de AI-technologie de drones in staat om obstakels zoals bijvoorbeeld elektriciteitskabels te identificeren. Daarnaast kan de drone ook op de grond objecten en mensen identificeren om een veilige aflevering van het pakket te garanderen (Newstex, 2019).

Naast Amazon worden ook andere ondernemingen aangesproken door het gebruik van drones voor leveringen. De markt heeft een groot potentieel en ook ondernemingen zoals Alibaba en JD.com onderzoeken de mogelijkheden van dronegebruik. Daarnaast heeft ook Alphabet Inc., een technologische dochteronderneming van Google, recent de toelating gekregen van de Federal Aviation Administration om testen met drones uit te voeren. Amazon onderscheidt zich echter van al deze concurrenten omdat hun drones niet enkel horizontaal kunnen vliegen, maar ook kantelingen kunnen uitvoeren. Dit stelt hun drones in staat om eenvoudiger obstakels te ontwijken, waardoor ze over een groot voordeel beschikken (Newstex, 2019).

Uit bovenstaande literatuur valt op te merken dat verschillende ondernemingen in drones een goede oplossing zien om in te spelen op de uitdagingen die e-commerce biedt op logistiek vlak. Omdat Vlaanderen, zoals aangegeven in het begin van sectie 4, beschikt over een bloeiende dronesector, zou het aantrekkelijk kunnen zijn voor Vlaamse ondernemingen om in navolging van bedrijven zoals Amazon aan de slag te gaan met dronegebruik voor leveringen.

Conclusie

In deze masterproef is een antwoord geformuleerd op volgende centrale onderzoeksvraag: "Hoe kunnen drones ingezet worden om de logistieke sector duurzaam en efficiënt te organiseren?". Hiervoor is een literatuuronderzoek uitgevoerd dat focust op drie punten. Eerst zijn de bestaande toepassingen in andere sectoren onderzocht om van daaruit verder te linken naar mogelijke manieren om drones in de logistieke sector te integreren. Vervolgens zijn de mogelijkheden en beperkingen in kaart gebracht. Tot slot is bekeken hoe drones de Vlaamse logistieke sectoren kunnen verbeteren.

Uit de resultaten van de literatuurstudie is gebleken dat dronegebruik de efficiëntie binnen de sector kan verhogen. Dat valt ondermeer op te maken uit het gebruik van drones in andere sectoren. Een aantal sectoren lopen namelijk al voor op de logistieke sector en gebruiken op dit moment al drones om bepaalde taken uit te voeren. Enkele van deze toepassingen kunnen mits aanpassingen doorgetrokken worden naar de logistieke sector.

Drones worden in de bouw- en landbouwsector hedendaags al gebruikt voor de inventarisatie van goederen. Door goederen in stock te voorzien van labels en drones daarnaast te voorzien van scanners, zou ook in magazijnen de inventarisatie kunnen gebeuren door middel van drones. Zo kan efficiënter gewerkt worden en wordt downtime tot een minimum herleid. Drones kunnen ook ingezet worden in magazijnen om controles uit te voeren zoals in de bouwnijverheid, de petrochemie, de gas- en olie-industrie en de energiesector reeds gebeurt. De kost van het inspectieproces in magazijnen kan namelijk hoog oplopen. Zo moeten vakkundige experts ingehuurd worden en moeten de activiteiten mogelijks stilgelegd worden. Door controles uit te voeren door middel van drones kan, zoals in de energiesector is gebleken, de downtime opnieuw sterk gereduceerd worden. Naast inspecties kunnen drones ook ingezet worden voor de beveiliging van magazijnen. Uit gebruik in de beveiligingssector is namelijk gebleken dat drones flexibel inzetbaar zijn en in tegenstelling tot vaste camera's geen dode hoek hebben. Tot slot is ook het gebruik van drones voor intra-logistieke verplaatsingen een mogelijkheid. Zo kunnen grondstoffen, afgewerkte goederen en hulpgoederen efficiënt verplaatst worden zonder menselijke tussenkomst. De efficiëntie in magazijnen kan dus zeker positief beïnvloed worden door het gebruik van drones.

Daarnaast gaat vanuit de logistieke sector ook veel aandacht uit naar dronegebruik voor pakketleveringen. Net zoals in de humanitaire sector wil de commerciële sector op die manier congestiegevoelige knooppunten vermijden om leveringen sneller en efficiënter uit te voeren. Door de toename aan e-commerce en de toenemende eisen van consumenten is de last mile delivery namelijk voor heel wat e-commerce retailers een grote uitdaging geworden. Amazon doet daarom al jaren onderzoek naar droneleveringen. Zo kreeg de onderneming reeds een patent voor een aangepast verzendingslabel met ingebouwde parachute en ontwikkelde het een eigen drone waarmee de onderneming een jaar lang testen mag uitvoeren van de Federal Aviation Administration. Levering door middel van parachutes zou enkel voorbehouden zijn voor leveringen bij alleenstaande woningen. Wooncomplexen zouden dan weer uitgerust kunnen worden met dronestations en eventuele laadpunten. Deze laadpunten zouden het bereik van drones kunnen vergroten en het

afleggen van langere afstanden mogelijk maken. Ook op vlak van kosten zouden drones efficiënter kunnen zijn dan traditionele koerierdiensten. Uit onderzoek blijkt namelijk dat Amazon in de stad Chattoonaga veel goedkoper zou kunnen leveren door middel van drones. Zo zou de kostprijs voor leveringen bij gebruik van drones verlaagd kunnen worden van 1,20 dollar per pakket naar 0,06 of 0,08 dollar per pakket.

Naast efficiëntie staat de logistieke sector in Vlaanderen ook voor heel wat ecologische uitdagingen. Uit onderzoek is gebleken dat drones, ondanks een veel kleinere ladingscapaciteit, kunnen zorgen voor een lagere uitstoot. Zo zou een bestelwagen met diesel- of benzinemotor in één keer meer dan 1.069 pakketten moeten kunnen vervoeren om efficiënter te zijn dan een drone. Een bestelwagen is daarentegen efficiënter bij meer dan vijftig leveringen op één route. Het zou dan ook voornamelijk voordelig zijn om de grote laadcapaciteit van de vracht- of bestelwagens te combineren met de veel lagere uitstoot van drones. Omdat vooral gebieden met een hoge klant dichtheid een ideale plaats zijn om drones in te zetten en de batterijcapaciteit nog beperkt is, zijn steden de ideale plaats om drones in te zetten. Door de korte leveringen uit te laten voeren door drones en op lange afstanden leveringen te consolideren, zou een goede en vooral ecologische match gevonden kunnen worden.

Hieruit kan besloten worden dat drones op veel manieren kunnen zorgen voor een efficiëntere en duurzame logistieke sector in Vlaanderen. Het is echter ook duidelijk dat vooraleer dit effectief mogelijk is nog enkele uitdagingen overwonnen moeten worden. Zo is een duidelijk en internationaal wettelijk kader nodig. Hiermee is de Europese Unie echter volop bezig en zal in juli 2020 ingevoerd worden. Daarnaast moet meer zekerheid gecreëerd worden rond de prestaties van drones en moeten manieren gezocht worden om de privacy en veiligheid van consumenten te kunnen garanderen. Wanneer de dronese sector, die in Vlaanderen volop in bloei staat, hierop kan anticiperen, liggen de mogelijkheden voor drones wagenwijd open.

Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek

Voor deze studie werd een literatuurstudie uitgevoerd. Op basis hiervan werd in kaart gebracht wat de mogelijkheden zijn voor drones binnen de logistieke sector. Daarbij werd in het bijzonder gezocht naar toepassingen binnen de Vlaamse logistieke sector. Hieruit bleek dat drones op vlak van efficiëntie en duurzaamheid waarde kunnen toevoegen aan de logistieke sector. Dit is mogelijk doordat de drones volledig zelfstandig kunnen vliegen zonder menselijke tussenkomst. Daarnaast voegen ze ook een nieuwe dimensie toe aan het logistieke proces. Doordat drones vanop een bepaalde hoogte werken, kunnen ze ongestoord hun werk verrichten en daardoor downtime reduceren en congestie vermijden.

De bekomen resultaten zijn grotendeels beschrijvend. Dit is voornamelijk het gevolg van een gebrek aan casestudies. Zo gaat een groot deel van de literatuur specifiek over drones en worden ze in mindere mate bekeken in functie van logistieke toepassingen. Hierdoor was het wel mogelijk om mogelijkheden van drones in kaart te brengen en de positieve effecten te beschrijven. Daarentegen was het niet altijd mogelijk om deze voordelen te onderbouwen aan de hand van cijfermateriaal. Dit komt ook doordat veel ondernemingen wel testen uitvoeren met drones of nadenken over de mogelijkheden ervan, maar deze toestellen nog niet effectief hebben geïntegreerd in hun processen.

Voor verder onderzoek beveel ik dan ook meer kwantitatief onderzoek aan door middel van specifieke en wijdverspreide casestudies. Op basis van de bestaande literatuur is het duidelijk voor welke toepassingen drones het best gebruikt kunnen worden. Door deze toepassingen onder geconditioneerde omstandigheden te laten uitvoeren en de hogere efficiëntie en verbeterde duurzaamheid in cijfers vast te leggen, kan veel waarde toegevoegd worden aan de bestaande literatuur.

- small UAS Operations. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 254(2), 864-871. Geraadpleegd op december 10, 2019, van <https://pdfs.semanticscholar.org/f202/0147c4da4e3f4c80d7f09c1d2faf0999588f.pdf>
- Carr, R. (2016, augustus 5). How drone use could impact the warehouse sub-sector. *National Real Estate Investor*. Geraadpleegd op november 8, 2019, van <https://search.proquest.com/docview/1809144658?accountid=27889>
- Choi, Y., & Schonfeld, P. M. (2017). Optimization of Multi-package Drone Deliveries Considering Battery Capacity. 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. (Paper No. 17-05769). Geraadpleegd op december 11, 2019
- Claesson, A., Bäckman, A., Ringh, M., Svensson, L., Nordberg, P., Djärv, T., & Hollenberg, J. (2017). Time to Delivery of an Automated External Defibrillator Using a Drone for Simulated Out-of-Hospital Cardiac Arrests vs Emergency Medical Services. (juni, Red.) *JAMA*, 317(22), 2332-2334. doi:<https://doi.org/10.1001/jama.2017.3957>
- Culus, J., Schellekens, Y., & Smeets, Y. (2018). *A drone's eye view*. Geraadpleegd op oktober 5, 2019, van <https://www.pwc.be/en/documents/20180518-drone-study.pdf>
- Custers, B. (2016). Drones Here, There and Everywhere Introduction and Overview. In *The Future of Drone Use Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives* (pp. 3-20). Den Haag: TMC Asser Press. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_1
- Custers, B., Oerlemans, J.-J., & Vergouw, B. (2015). *Het gebruik van drones; een verkennend onderzoek naar onbemande luchtvaartuigen*. Meppel: Boom Lemma Uitgevers. Geraadpleegd op februari 29, 2020
- Davis, B. A., & Figliozzi, M. A. (2013, januari). A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49, 8-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.07.003>.
- De Florio, F. (2016). Chapter 11 - Airworthiness of Unmanned Aircraft Systems (UAS). In *Airworthiness* (3e ed., pp. 471-493). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100888-1.00011-2>
- De Moor, B., Immers, B., Bellemans, T., & Logghe, S. (2001). *Het fileprobleem in België : wiskundige modellen, analyse, simulatie, regeling en acties*. Geraadpleegd op april 23, 2020, van <https://docplayer.nl/9460706-Het-fileprobleem-in-belgie-wiskundige-modellen-analyse-simulatie-regeling-en-acties.html>
- Ditton, J. (2000, september 4). Crime and the city: Public attitudes towards open-street CCTV in Glasgow. *The British Journal of Criminology*, 40(4), 692-709. doi:<https://doi.org/10.1093/bjc/40.4.692>
- DroneHub GAE. (2018, oktober 5). *DroneHub Groningen Airport Eelde bouwt waterstofdrone*. Geraadpleegd van <https://dronehub-gae.eu/dronehub-groningen-airport-eelde-bouwt-waterstofdrone/>
- Durinck, W., & Van Hoyweghen, R. (2018). *Onderzoek naar de inzetbaarheid van drones voor surveillance en beveiliging*. Masterproef, Universiteit Gent. Geraadpleegd op maart 2, 2020, van https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/508/961/RUG01-002508961_2018_0001_AC.pdf
- Energie - vergelijken. (z.d.). *Wattuur (Wh) – wat is een wattuur?* Geraadpleegd op maart 1, 2020,

- van <https://www.energie-vergelijken.nl/energiebegrippen/wattuur-wh/>
- EUKA. (2019, juni 26). *De nieuwe Europese drone wetgeving: wat komt er midden volgend jaar op ons af?* Geraadpleegd van <https://euka.org/de-nieuwe-europese-drone-wetgeving-wat-komt-er-midden-volgend-jaar-op-ons-af/>
- Feng, W., & Figliozzi, M. (2013, januari). An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 135-145. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.06.007>
- Figliozzi, M. A. (2018). *Modeling the Sustainability of Small Unmanned Aerial Vehicles Technologies: Final Report*. Geraadpleegd op december 10, 2019, van https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1488&context=cengin_fac
- Flytbase. (2019). *Drone Automation for Warehouse 4.0*. Geraadpleegd op maart 4, 2020, van https://cdn.flytbase.com/wp-content/uploads/2019/04/Drone-Automation-in-Warehouse-4.0.pdf?utm_source=website&utm_campaign=warehouse_whitepaper
- Goodchild, A., & Toy, J. (2018, juni). Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2 emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61(A), 58-67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.017>
- Goodman, R. W. (2005, december). Whatever you call it, just don't think of last-mile logistics, last. *Global Logistics & Supply Chain Strategies*, 9(12), 46-51.
- Hell, P., & Varga, P. (2019). Drone Systems for Factory Security and Surveillance. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 17(3A), 458-467. doi:<https://doi.org/10.7906/indecs.17.3.4>
- Hertwich, E., & Peters, G. (2009). Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis. *Environmental science & technology*, 43(16), 6414-6420. doi:<https://doi.org/10.1021/es803496a>
- Humphries, M. (2017, mei 31). Amazon Awarded Patent for Parachute Shipping Label. *Entrepreneur Europe*. Geraadpleegd op april 21, 2020, van <https://www.entrepreneur.com/article/295150>
- Kardasz, P., Duskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., & Zarzycki, H. (2016, januari). Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil & Environmental*, 6. doi:<https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>
- Khan, M. A., Alvi, B. A., Safi, E. A., & Khan, I. U. (2018). *Drones for Good in Smart Cities: A Review*. Conference paper. Geraadpleegd op april 25, 2020, van https://www.researchgate.net/profile/Muhammad_Khan1231/publication/316846331_Drones_for_Good_in_Smart_CitiesA_Review/links/5a27c404aca2727dd883c881/Drones-for-Good-in-Smart-CitiesA-Review.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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.119>
- Kim, S. J., & Lim, G. J. (2018). A Hybrid Battery Charging Approach for Drone-Aided Border Surveillance Scheduling. doi:<https://doi.org/10.3390/drones2040038>
- Koninklijk besluit met betrekking tot het gebruik van op afstand bestuurd luchtvaartuigen in het

- Belgisch luchtruim, artikel 1. (2016).
- Kopetz, H. (2011). Internet of Things. In *Real-Time Systems* (pp. 307-323). Boston: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8237-7_13
- Kruisselbrink, E. (2017). *Nieuwe banen door drones*. Geraadpleegd op april 22, 2020, van <https://www.warehousetotaal.nl/marktnieuws/nieuwe-banen-drones/100488/>
- Kückelhaus, M., & Niezgodna, D. (2014). *Unmanned aerial vehicles in logistics - A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry*. Germany: DHL Customer Solutions & Innovation. Geraadpleegd op maart 5, 2020, van https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trend_report_uav.pdf
- Lindert, M. (2019, april/mei). L'Oréal ziet ze vliegen. *Warehouse Totaal*, 14, pp. 10-13. Geraadpleegd op februari 29, 2020, van <https://www.warehousetotaal.nl/wp-content/uploads/2019/05/Warehouse-Totaal-2.pdf>
- Made in Limburg. (2020, januari 16). *Vliegen er binnenkort drones in onze magazijnen?* Geraadpleegd op april 24, 2020, van https://www.madeinlimburg.be/topics-content/technologie-topic/vliegen-er-binnenkort-drones-in-onze-magazijnen/?fbclid=IwAR0CMVg-h1tuQV1EZLj27-OPLiJoPC4RX5MiOe8IEkMKGRtJ4m_xRheQZsc
- Mazur, M., Wisniewski, A., & MicMillan, J. (2016). *Clarity from above - PwC global report on the commercial applications of drone technology*. PwC Polska Sp. Geraadpleegd op maart 5, 2020, van <https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf>
- McGregor, L. (2016, juni 3). Walmart warehouses will use drones within a year. *Sourcing Journal (Online)*. Geraadpleegd op november 8, 2019, van <https://search.proquest.com/docview/2273238817?accountid=27889>
- Michaelides-Mateou, S. (2016). Terrorism and National Security. In *The Future of Drone Use Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives* (pp. 153-170). The Hague: T.M.C. Asser Press. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_8
- Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. In *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54 (pp. 86-109). doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.005>.
- Narayanan, R. G., & Ibe, O. C. (2015). 6 - Joint Network for Disaster Relief and Search and Rescue Network Operations. In *Wireless Public Safety Networks 1* (pp. 163-193). Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-022-5.50006-6>
- Nelson, J. P. (1979, december). Airport noise, location rent, and the market for residential amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 6(4), 320-331. doi:[https://doi.org/10.1016/0095-0696\(79\)90011-1](https://doi.org/10.1016/0095-0696(79)90011-1)
- Newstex. (2019, juni 6). Amazon's New Drones to Boost E-commerce Delivery Abilities. Chicago. Geraadpleegd op april 25, 2020, van <https://search.proquest.com/docview/2252318811?accountid=27889>
- Passchier-Vermeer, W., & Passchier, W. (2000). Noise exposure and public. *Environmental Health Perspectives*, 108(1), 123-131. doi:<https://doi.org/10.2307/3454637>
- Pauner, C., Kamara, I., & Viguri, J. (2015). Drones. Current challenges and standardisation solutions

- in the field of privacy and data protection. *ITU Kaleidoscope 2015 - Trust in the Information Society*, (pp. 65-71). doi:10.1109/Kaleidoscope.2015.7383633
- Perritt, H. H., & Sprague, E. O. (2016). *Domesticating Drones: The technology, law and economics of unmanned aircraft*. Routledge.
- Perritt, H., & Sprague, E. (2015). Drones. *Vanderbilt Journal of Entertainment & Technology Law*, 3(673), pp. 673-749. Geraadpleegd op november 22, 2019
- Ponza, A. (2016). *Optimization of drone-assisted parcel delivery*. Geraadpleegd op december 12, 2019, van http://tesi.cab.unipd.it/51947/1/Andrea_Ponza_-_Analisi_e_ottimizzazione_nell'uso_di_droni_per_la_consegna_di_prodotti.pdf
- PwC Nederland. (z.d.). *In het middelpunt van een voortdurende innovatiegolf*. Geraadpleegd op november 8, 2019, van <https://www.pwc.nl/nl/marktsectoren/technologie.html>
- Renault. (2019). *Rijbereik & laadtijd Kangoo Z.E.* Geraadpleegd van <https://nl.renault.be/elektrische-wagens/kangoo-ze/rijbereik-opladen.html>
- Rosa, M., O'Brien, G., & Vermeiren, V. (2018). Spain-UK-Belgium Comparative Legal Framework: Civil Drones for Professional and Commercial Purposes. In M. de Miguel Molina, & V. Santamarina Campos, *Ethics and Civil Drones European Policies and Proposals for the Industry* (pp. 43-76). Springer. doi:10.1007/978-3-319-71087-7_4
- Roston, B. A. (2017). *Amazon patent details parachute label for drone deliveries*. Geraadpleegd op april 22, 2020, van <https://www.slashgear.com/amazon-patent-details-parachute-label-for-drone-deliveries-31487085/>
- Scott, J., & Scott, C. (2017). *Drone Delivery Models for Healthcare*. doi:<https://doi.org/10.24251/HICSS.2017.399>
- Sorrell, K. L. (2018, januari). The Many Uses of Drones. *Claims Magazine*, 66(1), pp. 12-14. Geraadpleegd op oktober 5, 2019, van https://www.blaney.com/webfiles/Claims_January_2018-dl.pdf
- Stansfeld, S. A., & Matheson, M. P. (2003, december). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68(1), 243-257. doi:<https://doi.org/10.1093/bmb/ldg033>
- Statistiek Vlaanderen. (2019, augustus 29). *Bijna 117.000 personen aan de slag in logistieke sector*. Geraadpleegd op april 20, 2020, van <https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/werkgelegenheid-in-de-logistieke-sector>
- Swan, W. M., & Adler, N. (2006, maart). Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2), 105-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.09.004>
- Troudi, A., Addouche, S.-A., Dellagi, S., & El Mhamedi, A. (2018). Sizing of the Drone Delivery Fleet Considering Energy Autonomy. *Sustainability*, 10(9). doi:<https://doi.org/10.3390/su10093344>
- Tsach, S., Tatievsky, A., & London, L. (2010). *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*. Encyclopedia of Aerospace Engineering.
- Tsiatsis, V., Karnouskos, S., Höller, J., Boyle, D., & Mulligan, C. (2019). Chapter 16 - Autonomous Vehicles and Systems of Cyber-Physical Systems. In *Internet of Things* (2e ed., pp. 299-305). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814435-0.00029-8>
- Van den Berg, J. P., & Zijm, W. (1999). Models for warehouse management: Classification and

- examples. In *International Journal of Production Economics*, 59(1-3) (pp. 519-528). doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00114-5)
- Van Dooren, P. (2018, april 14). *Flows magazine*. Geraadpleegd op oktober 6, 2019, van <https://www.flows.be/nl/transport/itlb-een-uur-file-kost-belgische-transporteur-80-euro>
- Vandekerckhove, S. (2018, mei 17). Twee derde van de wereldbevolking zal tegen 2050 in de stad wonen. *De Morgen*. Geraadpleegd op november 26, 2019, van <https://www.demorgen.be/nieuws/twee-derde-van-wereldbevolking-zal-tegen-2050-in-de-stad-wonen~b7decfd1/>
- Verbond van Belgische Ondernemingen. (2017, april 4). *Een visie voor de logistiek in België*. Geraadpleegd op oktober 6, 2019, van Flows: <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 op april 23, 2020, van <https://www.vias.be/storage/main/de-10-blikvangers-van-de-mobiliteit-in-belgie-volgens-vias-institute.pdf>
- Vlaams Verkeerscentrum. (2019, oktober 22). *Filezwaarte*. Geraadpleegd op oktober 5, 2019, van Statistiek Vlaanderen: <https://www.statistiekvlaanderen.be/filezwaarte>
- Vlaams Verkeerscentrum. (2019). *Verkeersindicatoren snelwegen Vlaanderen 2018*. Geraadpleegd op oktober 5, 2019, van <http://www.verkeerscentrum.be/pdf/rapport-verkeersindicatoren-2018-v1-2.pdf>
- Wawrla, L., Maghazei, O., & Netland, T. (2019). *Applications of drones in warehouse operations*. Whitepaper, ETH Zurich, D-MTEC, Chair of Production and Operations Management. Geraadpleegd op april 22, 2020, van https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/pom-dam/documents/Drones%20in%20warehouse%20opeations_POM%20whitepaper%202019_Final.pdf
- Welch, A. (2015). *A cost-benefit analysis of Amazon Prime Air*. Honors Theses. Geraadpleegd op april 22, 2020, van <https://scholar.utc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1051&context=honors-theses>
- Yurek, E. E., & Özmutlu, H. C. (2018, juni). A decomposition-based iterative optimization algorithm for traveling salesman problem with drone. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 91, 249-262. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.009>

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik verleen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling: **Het gebruik van drones in de logistiek**

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,

Vervisch, Noortje

Datum: 5 juni 2020