



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Modelleren van de goederentransportvraag

Alexandra Bogaert

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Mario COOLS



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

Modelleren van de goederentransportvraag

Alexandra Bogaert

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Mario COOLS

Disclaimer

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 thesis is tot stand gekomen in het kader van het behalen van de graad academische master in de Handelswetenschappen aan de Universiteit Hasselt. Het vormt het sluitstuk van de opleiding in de afstudeerrichting Supply Chain Management.

Via deze weg wil ik graag mijn promotor, prof. dr. Mario Cools, bedanken voor de constructieve feedback en expertise tijdens afgelopen periode, om mij te sturen in het proces en om mij te helpen in het succesvol afronden van dit opleidingsonderdeel. Verder uit ik mijn oprechte dank aan mijn familie en vrienden die mij hebben gesteund de voorbije periode en mij steeds hebben voorzien van feedback. Meer specifiek wil ik graag mijn gezin bedanken om er altijd voor mij te zijn en mij van de opportuniteit te voorzien hogere studies te kunnen volgen.

Ik hoop dat u bij het lezen van dit werk evenveel voldoening ervaart als ik had bij het schrijven ervan.

Alexandra Bogaert
Augustus, 2020

Samenvatting

Deze paper vloeit voort uit twee problematieken omtrent goederentransport die elk nader worden beproefd in deze paper. Enerzijds doet de bestaande literatuur tekort aan de verschillende transportmodi. Een overzicht waaruit men duidelijk kan afleiden welk vervoersmiddel het best past bij welke noden, blijkt nog afwezig te zijn. Hiervoor moet men goed op de hoogte zijn van de verschillende voor- en nadelen van elke modus. Deze thesis biedt de literatuur een overzicht aan per transportmiddel waartegen de lezer zijn eigen behoeften kan afwegen. Anderzijds ontbreekt een voorspellingsmodel voor de vrachttransportvraag voor Vlaanderen en al haar gemeenten. Ook hier speelt deze paper op in door een model op te stellen. Onder leiding van volgende onderzoeksvraag werd het onderzoek uitgevoerd:

'Hoe moet het voorspellingsmodel opgebouwd worden opdat het een accurate predictie van de goederentransportvraag kan genereren?'

Eerst wordt de literatuur vervolledigd aan de hand van zes onderscheden transportmodi die elk nader worden onderzocht. Wegtransport, spoorwegtransport, binnenvaart, pijpleidingen, zeevaart en luchtvaart worden geëvalueerd. Binnen België zijn wegvervoer, binnenscheepvaart en spoortransport de meest gebruikte vormen. De zes transportmiddelen worden beoordeeld op basis van ecologische en economische standpunten.

Wegtransport is veruit het meest gebruikte middel. De grootste reden hiervoor is de grote mate van flexibiliteit die het transport kan aanbieden in tegenstelling tot andere modi. Deze flexibiliteit wint steeds meer aandacht omwille van de alsmaar hogere eisen van de consument. Bijgevolg is dit transportmiddel niet weg te denken uit onze maatschappij. Echter verbruikt de modus enorm veel energie en veroorzaakt het veel pollutie. Dientengevolge zijn alternatieven van groot belang.

Spoorwegtransport wordt beschouwd als een duurzaam en betrouwbaar transport. Ruwe materialen, grondstoffen en zware goederen passen perfect bij dit type transport. De vervoersmodus heeft daarentegen nog enkele obstakels te overwinnen. Zo is het bijvoorbeeld een complex proces waar veel administratie aan verbonden is. Een vereenvoudiging van het proces zou het transport aantrekkelijker kunnen maken. Daarnaast kunnen de zintuigelijke nadelen van dit vervoer niet achterwege gelaten worden.

Vervolgens krijgt binnenvaart steeds meer gehoor in de transportsector. De negatieve externaliteiten zoals milieukosten, ongelukken, geluidsoverlast en congestie zijn hier beperkt in vergelijking met andere transportmodi. Ook worden vaak schaalvoordelen bereikt dankzij de grote hoeveelheden die het transport kan vervoeren. Containers maken het voor kleinere ondernemingen mogelijk te genieten van deze modus. Ondanks deze voordelen moet het transport vaak gecombineerd worden met andere modi, daar het tekort schiet in autonomie. Deze combinaties veroorzaken extra overslagkosten.

Pijpleidingen zijn een ondergewaardeerd transport aangezien iedereen er elke dag gebruik van maakt zonder het zich altijd te realiseren. Olie, gas en water worden eenvoudig en goedkoop aangevoerd dankzij dit transport. Gevaarlijke stoffen zijn daarnaast het veiligst te vervoeren via deze modus. Ook is dit vervoermiddel het meest autonome van alle transportmodi. Echter zijn er ook risico's verbonden aan het transport. Wanneer er iets fout gaat, kan dit meteen grote gevolgen hebben omwille van het type producten dat hiermee gepaard gaat. Ontvlambare stoffen, vervuilende olie en giftige vloeistoffen zijn enkele voorbeelden van goederen die pijpleidingen dagelijks vervoeren.

Zeevaart stijgt in belang en wordt steeds vaker gebruikt. Het transport brengt uiteraard vele schaalvoordelen met zich mee. Daarnaast is de capaciteit van de oceaan praktisch onbeperkt waardoor er geen directe kosten verbonden zijn aan een extra vaartuig. Congestie kent hier dan ook geen plaats. Vervolgens wordt het transport ook milieuvriendelijk geacht. De traagheid van de modus is het grootste nadeel. Dagen, zelfs weken, kunnen goederen onderweg zijn, wat steeds moeilijker te combineren valt met de hoge consumenteseisen.

Tot slot wordt luchtvaart onderzocht. Deze transportmodus speelt een belangrijke rol in vele ondernemingen die rekenen op snelle leveringen. Dure en tijdsgevoelige producten gaan hier vaak hand in hand mee. De globalisering verplicht bedrijven ertoe extra op de consumenttevredenheid in te spelen, waaronder snelle leveringen plaatsvinden. Echter kent het snelle karakter een keerzijde, namelijk de milieuvriendelijkheid van deze modus.

Vervolgens wordt in deze thesis de klassieke modellering van vrachttransport beproefd. Deze modellering bestaat uit vier stappen die elk verder worden toegelicht aan de hand van modellen. De eerste stap, productie en attractie, omvat de bepaling van de hoeveelheid te transporteren goederen. Deze stap zal hier uitgevoerd worden aan de hand van een voorspellingsmodel. Vervolgens komt de distributie aan bod in de klassieke modellering. De stroom van de te transporteren goederen tussen hun origine en bestemming wordt hier gekozen. De allocatie van deze goederenstromen aan types transport wordt behandeld onder de derde stap, namelijk de modale keuze. Tot slot worden de voertuigen toegewezen aan de netwerken.

Verder wordt er per stap een overzicht gemaakt van de modellen op basis van voor- en nadelen. De modelleringstechnieken van de trip generatiemodellen krijgen een korte literatuurstudie met aandacht voor de verschillende voorspellers van vrachttransport. Enkele voorbeelden zijn het bodemgebruik, de populatie en het aantal geregistreerde vervoersmiddelen.

Deze voorspellende indicatoren vormen de inspiratiebron voor het opstellen van het voorspellingsmodel. De beschikbare data bepaalt grotendeels de opgenomen variabelen in het model. Alle goederen worden officieel gecategoriseerd in tien productgroepen. De voorspelde productie van deze groepen voor het jaar 2020 is één van de opgenomen variabelen. Daarnaast vinden de provincies van Vlaanderen een plaats in het model. Hoeveel percentage oppervlakte in elke Vlaamse gemeente toegewijd wordt aan economische activiteiten, wordt onder de variabele bodemgebruik geplaatst. De laatst betrokken variabele is de bevolkingsdichtheid per gemeente.

Aan de hand van statistische testen worden de invloeden van voorgenoemde variabelen op het vracht getoetst. Hieruit ontstaat uiteindelijk het onderstaand voorspellingsmodel dat aangepast kan worden aan de gewenste gemeente en de gekozen productgroep.

$$\begin{aligned} & \textit{Intercept} + \textit{Provincie 1} + \textit{Provincie 2} + \textit{Provincie 3} + \textit{Provincie 4} + \textit{Provincie 5} \\ & + (\textit{BodemECpt} * \textit{bodemgebruik economie \%}) + (\textit{POPdens} * \textit{bevolkingsdichtheid}) \end{aligned}$$

De blauwe parameters zijn afhankelijk van de te onderzoeken productgroep. Het interceptiepunt is de hoeveelheid vracht van de gewenste productgroep dat geproduceerd wordt door de referentieprovincie, in deze thesis West-Vlaanderen. Daarna volgen de producties van de andere gecodeerde provincies. De invloeden van het bodemgebruik en de bevolkingsdichtheid, respectievelijk 'BodemECpt' en 'POPdens', zijn verschillend per productgroep en worden bepaald via een variantie analyse. De gekozen gemeente determineert tot slot de waarden van de rode parameters, namelijk het percentage oppervlakte dat gebruikt wordt voor economische activiteiten en de bevolkingsdichtheid in die gemeente. Zo kunnen er zeer specifieke voorspellingen gemaakt worden per regio voor elke productgroep waar transportbedrijven op kunnen inspelen.

Deze thesis tracht een duidelijk overzicht van de verschillende transportmodi op te stellen, een beproeving van de klassieke modellering te vormen en een vrachtvoorspellingsmodel voor Vlaanderen te creëren. Desalniettemin zijn er enkele obstakels die leiden tot aanbevelingen.

De evaluatie per transportmiddel is eerder beknopt, daar een grondigere beoordeling een uitgebreid onderzoek per modus vereist. Overigens zijn de beschikbare data omtrent vrachttransport beperkt waardoor enkele indicatoren uit de boot vallen. Als gevolg van een tekort aan data, wordt er voor dit model bovendien op een ander voorspellingsmodel geleund, ter beschikking gesteld door prof. dr. Mario Cools. Tenslotte zijn de gevolgen van de Corona epidemie op de Belgische economie, en bijgevolg op de transportsector, nog onduidelijk en zal ook dit een effect hebben op de toekomstige goederentransportvraag.

Inhoudstabel

DISCLAIMER	1
WOORD VOORAF	3
SAMENVATTING	5
INHOUDSTABEL	9
LIJST FIGUREN	11
LIJST TABELLEN	12
1. INLEIDING	13
1.1. PROBLEEMSTELLING.....	13
1.2. CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG	15
2. SOORTEN TRANSPORTMODI	16
2.1. WEGTRANSPORT.....	17
2.1.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	17
2.2. SPOORWEGTRANSPORT	21
2.2.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	21
2.3. BINNENVAART	24
2.3.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	24
2.4. PIJPLEIDINGEN.....	28
2.4.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	28
2.5. ZEEVAART.....	31
2.5.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	31
2.6. LUCHTVAART.....	34
2.6.1. EVALUATIE TRANSPORT.....	35
3. KLASSIEKE MODELLERING	38
3.1. MODELLEN VOOR PRODUCTIE EN ATTRACTIE	39
3.2. MODELLEN VOOR DISTRIBUTIE	41
3.3. MODELLEN VOOR MODALE KEUZE.....	42
3.4. MODELLEN VOOR TOEWIJZING	44
4. LINEAIR REGRESSIEMODEL	45
5. TRIP GENERATIEMODELLEN	46
6. OPSTELLEN VOORSPELLINGSMODEL	48
6.1. TOELICHTING VARIABELEN.....	48

6.2.	STATISTISCHE TESTEN	49
6.2.1.	CORRELATIE.....	49
6.2.2.	ONE-WAY ANOVA.....	51
6.2.3.	UNIVARIATE ANALYSIS OF VARIANCE	53
6.3.	MODEL	56
7.	CONCLUSIE	57
8.	BEPERKINGEN EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	58
	BIBLIOGRAFIE	59
	BIJLAGEN	66

Lijst figuren

Figuur 1	Aandeel in goederentransport België	13
Figuur 2	Vrachtransport in ton per kilometer	16
Figuur 3	Energieconsumptie per transportmodus	18
Figuur 4	Relatieve grootte externe kosten voor rijtuigen en treinen	21
Figuur 5	Grondvibraties veroorzaakt door spoorwegtransport	24
Figuur 6	Kritische drempelafstand	26
Figuur 7	Hoofdoorzaken van pijpleidingaccidenten 1998 - 2008	29
Figuur 8	Boomdiagram: mogelijke gevolgen lek in pijpleiding met gevaarlijke stoffen	30
Figuur 9	Short sea shipping van vracht	31
Figuur 10	Aantal personen overleden in een vliegtuigaccident 2014 - 2018	35
Figuur 11	Energieverbruik en CO2 uitstoot luchtvaart.....	36
Figuur 12	Energieconsumptie per transportmodus 1990 - 2017	37
Figuur 13	Regressieanalyse	45

Lijst tabellen

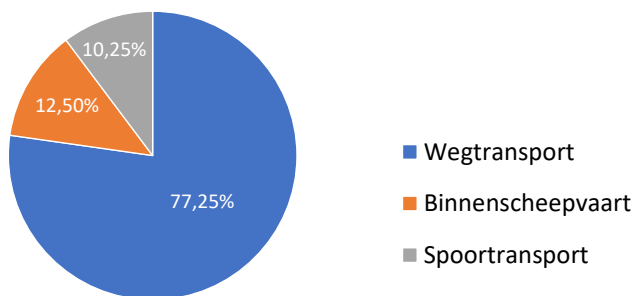
Tabel 1	Overzicht productie- en attractiemodellen van vrachttransport.....	40
Tabel 2	Overzicht distributiemodellen van vrachttransport.....	41
Tabel 3	Overzicht modale splitmodellen van vrachttransport.....	43
Tabel 4	Overzicht toewijzingsmodellen van vrachttransport	44
Tabel 5	Indicatoren vrachttransport	47
Tabel 6	Codering productgroepen	48
Tabel 7	Codering Vlaamse provincies	49
Tabel 8	Correlatietest.....	50
Tabel 9	One-way ANOVA	51
Tabel 10	Test of Between-Subjects-Effects.....	53
Tabel 11	Parameter estimates	54

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling

Vrachtttransport is een cruciaal onderdeel in de waardeketen dat tijdens vele processen een belangrijke rol op zich neemt. Om de levenscyclus van een product te voltooien, wordt er haast bij elke stap gebruik gemaakt van vrachtverkeer (Jungbluth, Tietje, & Scholz, 2000). In België is de transport- en logistieke sector verantwoordelijk voor ongeveer 5% van het bruto binnenlands product (MVO Vlaanderen, 2014). De sector heeft bijgevolg een groot aandeel in onze economie en is derhalve een interessant onderwerp om zich in te verdiepen.

Er bestaan verschillende soorten vrachtttransport met elk hun eigen voor- en nadelen. Men onderscheidt zes types vrachtvervoer: spoorwegvervoer, wegvervoer, pijpleidingen, zee- en kustvaart, binnenvaart en luchtvaart (MVO Vlaanderen, 2014). Binnen België zijn wegtransport, binnenscheepvaart en spoortransport de meest gebruikte vormen. Figuur 1 illustreert de verdeling van deze transportmodi. 77,25% van al het goederenvervoer gaat over wegen. Vervolgens neemt binnenscheepvaart 12,50% voor haar rekening. Tot slot verzorgt het spoortransport 10,25% van alle goederen (MVO Vlaanderen, 2012).



Figuur 1: Aandeel in goederentransport België, MVO Vlaanderen (2012)

De toekomst van de maatschappij is een onzeker gegeven. Elke dag ontstaan er nieuwe uitdagingen en bijgevolg nieuwe uitvindingen om deze aan te gaan. Het vrachtttransport staat zelf ook voor enkele hindernissen zoals bijvoorbeeld de grote CO2 uitstoot, het just-in-time principe, de nood aan flexibiliteit en de urbanisatie. Elk van deze voorbeelden heeft een ander transporttype nodig, maar dit gaat vaak niet hand in hand met de andere ontwikkelingen. Om zich bijvoorbeeld als leverancier flexibel te kunnen opstellen, is het gebruik van wegtransport de meest voor de hand liggende keuze. Echter is dit type transport verantwoordelijk voor veel pollutie (Piecyk & McKinnon, 2010). Bijgevolg kan één soort transport momenteel geen rekening houden met alle voorwaarden. Er ontstaat met andere woorden een grote vraag naar alternatieven en/of aanpassingen van de huidige transportmogelijkheden.

Doorheen de jaren zijn er reeds verschillende modelleertechnieken ontwikkeld om de vraag naar goederentransport te kunnen bepalen (Sivakumar, 2007). Echter zitten deze technieken niet allen op éénzelfde golflengte en houden ze niet allen rekening met de huidige veranderingen. Het klimaat en de economie werden voor een lange tijd als twee aparte entiteiten beschouwd, maar hier heeft men de afgelopen decennia een grote verandering in waargenomen (Rondinelli & Berry, 2000). Transport heeft namelijk een aanzienlijke impact op het milieu. Deze invloed zal op lange termijn merendeels bepaald worden door de intensiteit van de CO₂-emissie (Borken-Kleefeld, Berntsen, & Fuglestvedt, 2010). Dit benadrukt alsnog dat de keuze van transportmodus uitermate belangrijk is, vermits de uitstoot sterk verschilt tussen de verschillende soorten. Uit onderzoek blijkt dat vervoer via boot en trein het milieu de kleinste schade toebrengt. Daarentegen zijn lichte vrachtwagens en luchttransport behoorlijk vervuilend (Borken-Kleefeld et al., 2010). Ondanks deze resultaten bemerken we in figuur 1 dat wegtransport de meest gebruikte transportvorm is in België. Elk type transport heeft positieve en negatieve effecten, ook op het klimaat. Deze invloeden zijn ook relevant bij het opstellen van een model om de goederentransportvraag te voorspellen. De modellen moeten dientengevolge zowel het economische aspect als het ecologische aspect internaliseren (Sivakumar, 2007).

De recente ontwikkelingen in het consumentengedrag maken het de producent en leverancier moeilijk om rekening te houden met het klimaat (Zhang, Vonderembse, & Lim, 2003). Consumenten verwachten onder andere snelle leveringen, flexibele levertijden en gratis terugzendingen. Dit zijn enkele voorbeelden van criteria dat het transport bepaalt. Hoe kan men de dag nadien leveren wanneer schepen er dagen, weken of maanden over doen om tot hun eindbestemming te geraken? Hoe kan men een flexibele houding aannemen wanneer de goederen via treinen vervoerd moeten worden? Hoe kan men de vele terugzendingen ecologisch verantwoorden? Elk van deze problematieken heeft een effect op de transportkeuze en zodus op het milieu. De modellen moeten vervulledigd worden aan de hand van deze aspecten.

De toekomst van het vrachtverkeer wordt gekenmerkt door verscheidene factoren die onmogelijk allemaal in één model kunnen opgenomen worden. De impact op het milieu en de verandering in consumentengedrag, maar ook de nieuwe technologische ontwikkelingen en politieke standpunten, zijn voorbeelden van indicatoren die de toekomstige vraag naar goederentransport beïnvloeden. De literatuur biedt voorlopig nog geen model dat verschillende van deze aspecten combineert. Ondanks het feit dat er geen model kan gemaakt worden dat alle factoren internaliseert, kan er wel een model gecreëerd worden dat Vlaanderen en al haar gemeenten onder de loep neemt. Een dergelijk model is een noodzaak opdat de sector zich correct kan voorbereiden.

Daarenboven is het belangrijk stil te staan bij de huidige Corona epidemie. Deze veroorzaakt namelijk enorm veel onzekerheid in het land, in de economie en bijgevolg ook in de vrachttransportsector. De effecten van de Covid-19 uitbraak op de transportvraag zijn nog niet gekend en vereisen een eigen onderzoek.

1.2. Centrale onderzoeksvraag

De opzet van dit onderzoek is het vergaren van een model dat de toekomstige goederentransportvraag voor Vlaanderen kan voorspellen. Transport kan op verschillende manieren volbracht worden en elke transportmodus heeft andere kenmerken. Bijgevolg zal er allereerst een overzicht opgesteld worden waarin deze vervoersmiddelen geëvalueerd worden. Om het model zelf te kunnen samenstellen, heeft men nood aan verschillende onderdelen. Hierom luidt de centrale onderzoeksvraag als volgt: *'Hoe moet het voorspellingsmodel opgebouwd worden opdat het een accurate predictie van de goederentransportvraag kan genereren?'*.

Om te kunnen achterhalen welke facetten als nodig worden geacht, zal eerst een deelvraag worden onderzocht. Deze deelvraag kan als volgt geformuleerd worden: *'Welke indicatoren zijn relevant bij het bepalen van de goederentransportvraag?'*. Om een antwoord te kunnen bieden op deze deelvraag, zullen verschillende modelleringstechnieken onderzocht worden. Elke techniek heeft een andere invalshoek en neemt ook andere variabelen op. Derhalve zullen ook de indicatoren verschillen. Een overzicht van deze technieken en de voorspellers is zodus cruciaal om deze deelvraag juist te kunnen oplossen.

Nadat deze deelvraag nauwkeurig is onderzocht en de indicatoren met andere woorden benoemd zijn, zal een model kunnen worden opgesteld. Om dit model juist te kunnen invullen, is correcte data per indicator nodig. De zoektocht naar deze data bepaalt voor een groot deel hoe het model er zal uitzien. De beschikbaarheid van deze gegevens is namelijk niet altijd een evidentie. Deze informatie, samen met de beantwoorde deelvraag, zal uiteindelijk een antwoord bieden op de centrale onderzoeksvraag.

2. Soorten transportmodi

Tussen 2016 en 2017 heeft België een toename in vrachttransport van 2,4% gekend. Recente gegevens van 2017 geven een onderverdeling per transportmodus weer voor zowel Europa als België (Eurostat, 2020). De transportmodi die in beschouwing worden genomen zijn wegtransport, spoorwegtransport, binnenvaart, pijpleidingen, zeevaart en luchtvaart. Enkel voor zeevaart zijn er geen aparte gegevens voor België beschikbaar aangezien dit transport zich op internationale wateren afspeelt. De tabel in bijlage 1 geeft een overzicht van de evolutie over de jaren heen van de gebruikte modi. Binnen Europa won wegtransport aan veel populariteit in tegenstelling tot pijpleidingen en transport over water. Deze trend wordt echter niet doorgetrokken in België. Hier is de koploper binnenvaart met een stijging van 7,4% tussen 2016 en 2017. Ondanks dat wegtransport een deel moest afstaan, blijft deze transportmodus nog steeds de meest gebruikte vorm, verantwoordelijk voor 72,4% van het vrachttransport in België in 2017. Vervolgens komt binnenvaart met 15,3%, gevolgd door spoorwegtransport dat 10,1% van het totale transport vertegenwoordigd. Tot slot zijn pijpleidingen goed voor een kleine 2,2%.

Figuur 2 geeft een visuele representatie weer van de evolutie van vrachttransport in België, in vergelijking met Europa. Ook hieruit kan de sterke stijging in het gebruik van binnenvaart waargenomen worden. Europa wordt duidelijk gedomineerd door wegtransport, waar België sterk vertegenwoordigd wordt door binnenvaart. Het is echter belangrijk de aandacht te vestigen op de gebruikte eenheid in de grafiek. De blauwe lijn die de binnenvaart van België representeert, ligt hier boven de rode lijn van het wegtransport doordat de meeste vaartuigen meer tonnen vracht per kilometer kunnen vervoeren dan vrachtwagens. De grafiek vertegenwoordigt zodus niet de frequentie van het gebruik van de transportmodus, maar wel de hoeveelheid vracht per kilometer dat ermee vervoerd wordt.



Figuur 2: Vrachttransport in ton per kilometer, Federaal Planbureau (2020).

Vlaanderen onderscheidt zodus zes transportmodi voor vracht (MVO Vlaanderen, 2019). Elk van deze soorten heeft andere kenmerken, andere voor- en nadelen en wordt voor andere goederen ingezet. De verschillende transportmodi worden telkens geëvalueerd via een economische en ecologische benadering. Wanneer een transportmodus gekozen wordt door een klant, zullen eerst enkele aspecten onderzocht worden om deze te matchen met diens noden. De volgende elementen worden bijvoorbeeld in achtving genomen: *door-to-door* (DTD) kost, DTD transporttijd, service frequentie, vertrek- en aankomsturen, betrouwbaarheid op vlak van tijd, beschadigingen en/of verliezen, flexibiliteit, ladingbeperkingen in verband met maximale gewichten en/of groottes en de mogelijkheid om slechts delen lading te kunnen versturen (Kreutzberger, 2008). Afhankelijk van de fase in de *supply chain*, zijn bepaalde factoren belangrijker dan anderen. In het algemeen wordt de kostprijs als meest significant beschouwd, maar de relevantie van de prestaties op de andere aspecten stijgt. In de fase van materiaalbeheer is bijvoorbeeld betrouwbaarheid belangrijker, in tegenstelling tot de distributiefase. De prestaties op de factoren verschillen per transportmodus waardoor doorheen de waardeketen vaak een combinatie van modi gehanteerd wordt.

Elk transporttype wordt verder toegelicht in deze masterproef. Het is belangrijk te noteren dat niet alle plus- en minpunten aan bod komen. Deze sectie biedt slechts een overzicht van de meest voorkomende voor- en nadelen.

2.1. Wegtransport

Het goederentransport kent een sterke toename de afgelopen decennia en het grootste aandeel hierin wordt toegekend aan het wegtransport. Ondanks de vele voordelen, zijn er ondertussen ook verscheidene nadelen gekoppeld aan de transportmodus. Deze voor- en nadelen moeten tegen elkaar afgewogen worden om te beslissen of deze transportmodus de nadelen waard is.

2.1.1. Evaluatie transport

In vergelijking met andere transportmodi, beschikt wegvervoer over veel voordelen (Your Article Library, 2014).

Ten eerste vereist deze modus relatief weinig investeringen ten opzichte van andere modi, zoals spoorwegtransport en luchtvaart. Zowel het voertuig zelf als de benodigde infrastructuur zijn kostvriendelijker bij wegtransport. Daarenboven wordt de infrastructuur voor de weg voorname-lijk voorzien door de overheid, waardoor deze kost bijna volledig wegvalt voor de gebruiker. Echter veroorzaakt het gebruik ervan externe kosten die geïnternaliseerd zouden moeten worden. Als reactie werd de kilometerheffing ingevoerd, die later verder besproken wordt.

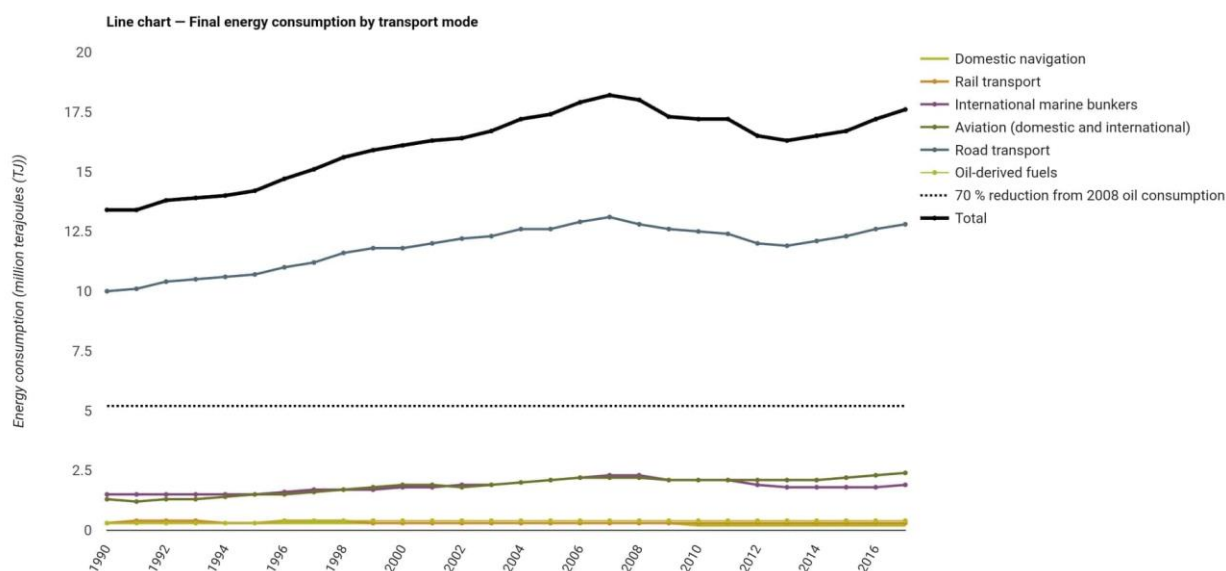
Vervolgens is de befaamde *door-to-door* service een pluspunt. Deze dienst kan geen enkel ander klassiek transportmiddel leveren waardoor dit een exclusieve eigenschap is van wegtransport. Dit kenmerk is vooral voordelig voor het leveren en collecteren van goederen aan huis bij klanten of magazijnen.

Dit brengt ons bij het volgende punt, namelijk de ligging van de eindbestemming van het transport. Zowel landelijke als stedelijke adressen zijn moeilijk bereikbaar voor andere transporten. Landelijke omgevingen hebben vaak niet de infrastructuur die treinen of boten nodig hebben om zich te kunnen verplaatsen. Daarnaast is het soms onmogelijk om binnen de stadsmuren te leveren aangezien hier voor zulke infrastructuur geen plaats is. De stadsranden zijn hier meestal wel voor uitgerust, maar om bijvoorbeeld tot aan winkels te geraken, is er toch nog steeds nood aan wegtransport. Met andere woorden, een combinatie van transport is mogelijk, maar binnen deze combinatie zal wegvervoer vaak een plaats hebben om de eerste en laatste meters te volbrengen.

De flexibiliteit waarmee wegtransport kan leveren, is het volgende voordeel (Reis et al., 2013). De behoeften van de klant kunnen grotendeels gerespecteerd worden aangezien wegtransport slechts weinig beperkingen kent. De routes worden dagelijks uitgestippeld op basis van het huidige cliënteel. Bovendien kan men rekening houden met de timingsvoorwaarden van de klant. Afgelopen jaren is er een grote vraag ontstaan naar deze flexibele houding die een wegtransporteur kan aannemen, daar de consumentenverwachtingen sterk veranderen (Zhang et al., 2003). Het wordt bijna vanzelfsprekend dat het pakket de dag nadien aan huis geleverd wordt op een moment naar keuze. Deze recente ontwikkelingen eisen een hoge graad van flexibiliteit, een graad die momenteel enkel wegtransport kan bieden.

Wegtransport heeft heel wat voordelen waar andere modi niet mee kunnen concurreren. Echter heeft dit type transport ook nadelen en negatieve externe effecten die we in rekening moeten brengen. Janic (2007) deed onderzoek en vond enkele minpunten.

Ten eerste verbruikt deze transportmodus enorm veel energie, zoals waargenomen kan worden in onderstaande figuur. De bovenste lijn representeert de totale energieconsumptie. De eerste lijn hieronder vertegenwoordigt het wegtransport. Deze ligt beduidend hoger dan de andere transportmodi en heeft bijgevolg een groot aandeel in het totale energieverbruik.



Figuur 3: Energieconsumptie per transportmodus, Eurostat (2020).

Tevens veroorzaakt dit type transport veel luchtvervuiling (Borken-Kleefeld et al., 2010). De volledige transportsector veroorzaakt 25% van de totale CO₂ uitstoot, waarvan 80% wegtransport voor haar rekening neemt (Thambiran, Tirusha, & Diab, 2011). Dit is een serieuze problematiek aangezien luchtvervuiling als gevaarlijkste bedreiging voor de menselijke gezondheid wordt beschouwd (European Court of Auditors, 2018). Het veroorzaakt negatieve effecten op de gezondheid die kunnen leiden tot vroegtijdig overlijden. Er is een duidelijke link tussen luchtvervuiling, verkeer en gezondheidsproblemen, zo constateren Mommens, Brusselaers, van Lier en Macharis (2019). Bijgevolg ontstaat er een grote uitdaging voor de transportsector.

De luchtpollutie wordt versterkt door volgende kwestie, namelijk de congestie. Al het transport dat goederen levert of ophaalt, moet gebruik maken van dezelfde infrastructuur als die voor particulieren. Dit type transport is bovendien heel populair in geurbaniseerde en industriële zones, waardoor externen hier last van ondervinden. Files zullen niet enkel particulieren hinderen, maar ook eventuele andere transporteurs waardoor laattijdigheid kan ontstaan (Janic, 2007). Om deze externe kost aan te pakken, heeft de overheid in 2016 de kilometerheffing voor vrachtwagens geïntroduceerd (Sofico, Kilometerheffing voor vrachtwagens, 2020). Het principe is dat de gebruiker, en zodus de medeverantwoordelijke voor vervuiling, meedraagt in deze externe kosten.

Deze maatregel is van kracht in de drie gewesten en van toepassing op alle vrachtwagens die het maximaal toelaatbaar totaalgewicht van 3,5 ton overschrijden (Analyse voor -en nameting kilometerheffing vrachtwagens, 2017). Om het tarief te bepalen, wordt er rekening gehouden met het gewicht en de uitstoot van het voertuig. Het is echter belangrijk erop te duiden dat niet alle wegen onderworpen zijn aan deze regeling. Er zijn namelijk meer wegen waarop geen tarief wordt vastgelegd dan wegen die wel onderhevig zijn aan de kilometerheffing. Dit kan een ontwijking veroorzaken van vrachtwagenstromen die een alternatieve weg zoeken. Omwille van deze bekommernis, werd er in 2017 een onderzoek uitgevoerd door de Vlaamse Regering (Analyse voor -en nameting kilometerheffing vrachtwagens, 2017). De resultaten tonen aan dat de tol geen verschuiving van het hoofdwegennet naar het onderliggende wegennet teweeg brengt. Opmerkelijk is dat er zelfs meer gebruik wordt gemaakt van de betalende wegen en minder van de tolvrije wegen. Dit kan te wijten zijn aan de sterke stijging van het betolde onderliggende wegennet.

De congestie introduceert het volgende probleem in verband met wegtransport, namelijk de onbetrouwbaarheid. De levertijd kan sterk verschillen door de invloeden van buitenaf waardoor het transport vertraagd kan worden. Dit kan kosten teweeg brengen wanneer de supply chain hierdoor stilvalt. Indien het transport te vroeg aankomt, kan dit niettemin ook kosten veroorzaken zoals wachttijden (De Jong et al., 2004). Echter wijst onderzoek van De Jong, Bakker en Pieters (2004) uit dat gebruikers van deze modus meer belang hechten aan de transporttijd dan aan de betrouwbaarheid. De flexibele houding die wegtransport kan aannemen, zorgt ervoor dat men snel goederen kan vervoeren van locatie A naar locatie B. De transporttijd is hierdoor beperkter, hetgeen de zwakke score op betrouwbaarheid opheft.

Vervolgens is geluidshinder een nadelig gevolg van wegvervoer. Dit kan ergernissen teweegbrengen en, indien het geluid aanhoudend is, de productiviteit verkleinen.

Overigens is de laadcapaciteit van wegtransport beperkt waardoor het geen grote bulken kan vervoeren. Indien men grote hoeveelheden moet verplaatsen, is dit niet de meest gepaste vorm van transport aangezien men dan vele voertuigen zou moeten inschakelen.

Tot slot worden verkeersongevallen beschouwd. Deze accidenten veroorzaken niet alleen schade en verlies voor de onderneming, ook de betrokken partijen lijden hieronder. De betreffende belanghebbenden kunnen blikshade en zelfs letsels oplopen waar rekening mee gehouden moet worden. Daarenboven wordt het transport aangetast, dit kan zowel het voertuig als de inhoud ervan betekenen. Afhankelijk van de fase in de supply chain, kan dit grote gevolgen hebben voor het verdere verloop van het proces.

Wegtransport is veruit de meest gebruikte modus in België, zoals ook de cijfers van MVO Vlaanderen (2012) bewijzen. Uit onderzoek blijkt zelfs dat wegtransporteurs andere vervoerwijzen vaak niet als mogelijkheid beschouwen (De Jong, Bakker, & Pieters, 2004). Dit is mogelijk te verklaren door de verstrengde eisen van de consument. Het just-in-time principe wint veel aandacht waardoor flexibiliteit een grote factor is geworden in het beslissingsproces van het type transport. Transporteurs die als basis wegtransport verkiezen, zullen bijgevolg moeilijk uitwijken naar alternatieven. Echter bestaat er een asymmetrie in het beschouwen van de opties. Bedrijven die veel gebruik maken van spoor en binnenvaart, zullen bijvoorbeeld wel wegtransport als een beschikbare optie overwegen.

2.2. Spoorwegtransport

Spoorwegtransport kent een stabiele evolutie sinds 2010, wat opmerkelijk is aangezien goedertransport in het algemeen wel gestegen is. Relatief gezien, wordt deze transportmodus met andere woorden minder vaak gebruikt. Doch wordt dit type transport doorgaans wel als milieuvriendelijk beschouwd dankzij de mogelijkheid om met hernieuwbare energie te werken (Behrends, 2012).

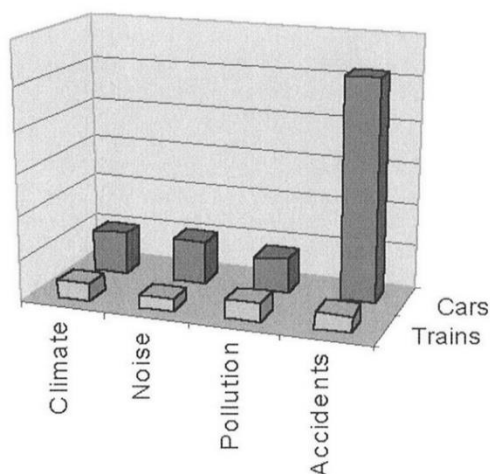
2.2.1. Evaluatie transport

De positieve elementen van spoorwegtransport worden eerst geëvalueerd.

Deze modus heeft als eerste voordeel dat het zeer zware ladingen kan vervoeren, ladingen waarvoor wegvervoer bijvoorbeeld niet de capaciteit heeft. Ruwe materialen, grondstoffen en zware goederen sluiten perfect aan bij dit type transport. Daarnaast kan het ook grote hoeveelheden vervoeren waardoor men in grote bulken kan werken (Reis et al., 2013). Dit kan op zijn beurt dan weer schaalvoordelen teweegbrengen. Deze hoeveelheden kunnen voorts gemakkelijk over lange afstanden vervoerd worden.

Vervolgens is het een relatief duurzaam transport in vergelijking met andere modi, met als gevolg dat de overheid investeringen in deze modus stimuleert (Reis et al., 2013). Dankzij de mogelijkheid om te rijden op elektriciteit, kunnen de emissies beperkt worden (Smith, 2003). De energieprestaties van treinen worden bovendien alsmaar beter door innovaties en nieuwe technologieën, dit allen resulterend in een duurzaam transport (Reis et al., 2013). Dit voordeel krijgt steeds meer aandacht in de huidige, meer milieubewuste, maatschappij.

In vergelijking met wegtransport, scoren spoorwegen beduidend beter op negatieve externaliteiten, zoals waargenomen kan worden in onderstaande figuur (Smith, 2003). Er worden vier factoren vergeleken, namelijk de algemene impact op het klimaat, de geluidsoverlast, de luchtpollutie en tot slot de ongevallen als gevolg van het transport.



Figuur 4: Relatieve grootte externe kosten voor rijtuigen en treinen, Smith (2003), pagina 3.

Bovenstaande figuur illustreert daarenboven het grote voordeel van treinverkeer omtrent ongevallen. Spoorwegtransport is een zeer veilige manier van reizen in tegenstelling tot wegvervoer. Bijgevolg zijn er minder kosten die veroorzaakt worden door accidenten. Deze kosten kunnen blikshade inhouden, materiële schade aan de goederen, maar ook schade aan de betrokken slachtoffers waardoor er een impact bestaat op de gezondheidssector. Hiermee formuleert Smith een bijkomend voordeel als gevolg van de veiligheid van treinen. Indien de trein namelijk aantrekkelijker kan worden dan wegtransport door dit voordeel, zouden weggebruikers mogelijks overwegen over te schakelen op spoorwegen. Dit kan resulteren in een lager ongevallenaantal bij wegtransport en bijgevolg een besparing van de bronnen van de zorgsector en de industrie (2003).

Het volgende pluspunt is een oplossing voor het fileprobleem, aanwezig bij wegtransport. Via spoorwegen is er nauwelijks sprake van onverwachte files (Bryan, Weisbrod, & Martland, 2007). Ongelukken zijn zeldzaam en de routes zijn op voorhand gekend waardoor er zich weinig plotse-linge problemen kunnen voordoen. Litman (2007) onderzocht verschillende werken in verband met de congestievoordelen van treintransport. Dankzij de grotere capaciteit die treinen kunnen vervoeren, is er minder transport nodig. Daarnaast betekent het gebruik van de trein, minder transport op parallelle wegen die hierdoor profiteren van een vlotter verkeer.

Dit resulteert in het laatste voordeel, namelijk de betrouwbaarheid van het transport. Dynkin (2002) legt uit dat er weinig misloopt bij spoorwegtransport omdat er strikte regels zijn en duidelijke schema's waar iedereen zich aan moet houden. Dankzij de redelijk constante snelheid van het transport, kan men daarenboven goed voorspellen hoeveel tijd de af te leggen route in beslag zal nemen (Ke, Lin, & Lai, 2011). Hierdoor verkrijgt men grote zekerheid zowel als klant als transporteur.

Naast deze pluspunten, zijn er echter ook verbeterpunten voor dit transport. Hegedus (2018) ondervond enkele negatieve aspecten van spoorwegtransport.

Ten eerste is de autonomie beperkt. Men heeft namelijk vaak nog nood aan andere modi in combinatie met spoorvervoer. Wanneer men een bulk goederen moet vervoeren van locatie A naar locatie B, zal er bijvoorbeeld eerst gebruik gemaakt worden van wegtransport om de goederen tot aan de spoorweg te krijgen. Hier moet de bulk vervolgens op rails geplaatst worden voor de treinrit. Na afloop van de rit, worden de goederen weer overgeplaatst op wegtransport om deze uiteindelijk naar locatie B te kunnen vervoeren. Dit is een klassiek voorbeeld waarin men de goederen verschillende keren moet verplaatsen. Deze stappen nemen tijd in beslag waardoor spoorwegtransport, ondanks de snelheid van de treinen zelf, als traag transport beschouwd wordt.

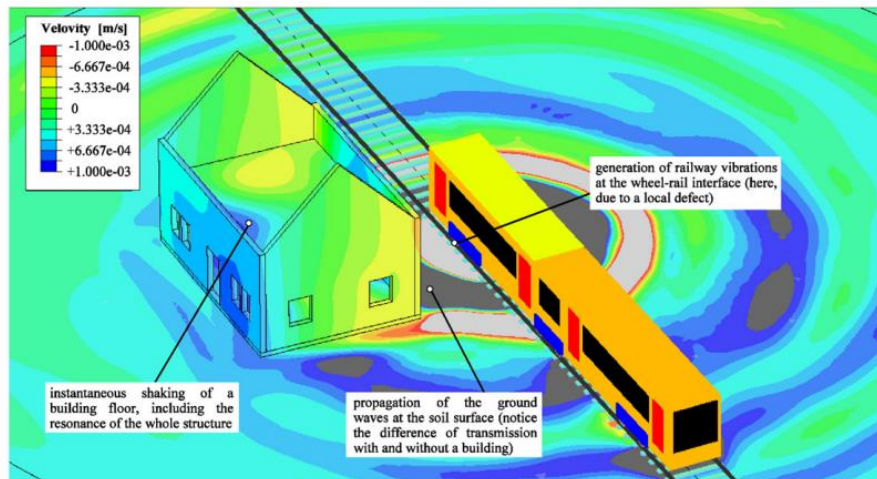
Ten tweede beperkt de traagheid van spoorwegtransport het productassortiment dat men kan vervoeren. Producten die snel op eindbestemming moeten zijn, zoals bijvoorbeeld voedsel met korte houdbaarheidsdatum, zijn niet ideaal voor deze modus. Hierbij sluiten producten met een hoge geldwaarde aan. Voor deze categorie wordt flexibel en snel transport geprefereerd.

Dit brengt ons bij het derde nadeel van spoorwegtransport, namelijk het gebrek aan flexibiliteit. Zoals reeds omschreven is het transport onderworpen aan strenge regels, hetgeen resulteert in zekerheid en betrouwbaarheid. Echter veroorzaken deze voorschriften een statisch transport dat zich moeilijk kan aanpassen aan veranderingen (Behrends, 2012). Door de strakke planning is het lastig om extra pakketten toe te voegen aan een rit of extra ritten in te plannen. Hierdoor vallen er heel wat producten uit de boot en zijn bedrijven die rechtstreeks in contact staan met de eindklant minder geneigd dit transport toe te passen.

Vervolgens zijn er veel stappen die men moet doorlopen waardoor het proces in zijn totaliteit behoorlijk omslachtig is. Zo is er veel administratie verbonden aan het transport, zijn de rijbewijzen voor de treinconducteurs binnen Europa verschillend en zijn er technische verschillen tussen de lidstaten. Om dit te verbeteren werden er sinds 2001 de zogenaamde *railway packages* ontworpen. In totaal werden er vier packages geformuleerd met als doel het treintransport te stimuleren, een legaal systeem te installeren en een overkoepelend beheer voor Europa te creëren (Eisenkopf et al., 2006). Echter is er nog veel ruimte voor verbetering opdat Europa als één geheel kan functioneren wat betreft spoorwegtransport.

Behrends (2012) bemerkte overigens dat klanten vaak een negatieve indruk hebben van de service kwaliteit van het transport. De sector zou meer promotie moeten voeren om deze opvatting te veranderen aangezien het ook vele positieve kanten bezit.

Het transporttype heeft ook zintuigelijke nadelen (Behrends, 2012). Het gaat hier vooral om geluidshinder, zichtbeperkingen en vibratie. Langs een spoorweg wonen is onpopulair aangezien het transport veel lawaai veroorzaakt. Dit brengt frustraties teweeg bij buurtbewoners, slaapmoeilijkheden en uiteindelijk gezondheidsproblemen indien voorgaande effecten ernstig zijn. Geluidshinder wordt beschouwd als het grootste nadeel op vlak van milieu als gevolg van treintransport (Trombetta Zannin & Bunn, 2014). Hierdoor verzet men zich sneller tegen een mogelijke opkomst van de modus en probeert men vaak het gebruik ervan te beperken. Daarnaast wordt het uitzicht van het landschap aangetast door de sporen, kabels en treinen zelf (Schulte-Werning et al., 2006). Tot slot ontstaat er vibratie bij het voorbijrijden van een trein. Dit veroorzaakt extra geluiden en kan gebouwen doen bewegen. Deze resulteren in menselijk leed en verlies van vastgoed (Connolly et al., 2016). In onderstaande figuur wordt duidelijk het effect op de omringende gronden geïllustreerd.



Figuur 5: Grondvibraties veroorzaakt door spoorwegtransport, Kouroussis et al. (2014), pagina 10 .

Het laatste nadeel van deze modus is de hoge kostenstructuur (Hegedus, 2018). Er zijn veel investeringen nodig voordat men gebruik kan maken van dit transport. Volgens Smith (2003) is de infrastructuurkost van een treinspoor ongeveer 16 keer groter per lengte-eenheid dan de kost van een weg.

2.3. Binnenvaart

Het gebruik van binnenvaart wordt sterk gestimuleerd door de overheid en krijgt steeds meer aandacht. Deze transportmodus zou een alternatief moeten kunnen vormen voor wegvervoer (Geuens, 2007). Aangezien België beschikt over een uitgebreide infrastructuur van waterwegen, wordt de interesse in deze transportoptie alsmaar groter (Krols, Rome, & Van Breedam, 2006).

2.3.1. Evaluatie transport

Geuens (2007) besprak in zijn onderzoek uitgebreid de binnenvaart en somde hierbij enkele voor- en nadelen op. Allereerst worden de pluspunten van het transport geëvalueerd.

De modus staat bekend voor het vervoeren van grote hoeveelheden goederen aan de hand van containers. Dit brengt twee extra voordelen met zich mee, namelijk de schaalvoordelen dankzij de grote capaciteit van de containers, en het gebruik ervan laat een breder publiek toe. Bedrijven hebben immers niet altijd nood aan volledige schepen of hebben er de financiële middelen niet voor. De containers zorgen ervoor dat meerdere ondernemingen samen één schip kunnen vullen waardoor de kost gedrukt kan worden en dit transport een beschikbare optie wordt.

Bovendien kan binnenvaart de leveringen met redelijk grote zekerheid garanderen omwille van duidelijke plannings. Deze betrouwbaarheid is een groot voordeel dat ook aan het spoorwegtransport werd toegeschreven. Daarentegen is het transport wel sterker afhankelijk van het klimaat. Deze afhankelijkheid kan de betrouwbaarheid beperken en wordt verder besproken bij de nadelen van binnenvaart.

Vervolgens zijn de externe kosten zeer beperkt in vergelijking met andere transportmodi. Milieukosten, ongelukken, geluidsoverlast en infrastructuur worden in beschouwing genomen. In tegenstelling tot treinvervoer is de geluidsoverlast gelimiteerd aangezien het een lager constant geluid veroorzaakt in plaats van hoge pieken zoals bij spoorwegtransport. Hierdoor ondervindt de omgeving er minder last van. Binnenvaart staat bovendien bekend om haar milieuvriendelijkheid waardoor het in de huidige maatschappij aandacht wint (Schweighofer, 2014). Echter is het belangrijk te onderlijnen dat er in tegenstelling tot de andere transportmodi, weinig wordt geïnvesteerd in onderzoek en ontwikkeling om binnenvaart nog voordeliger te maken.

Daarnaast is veiligheid een grote troef van binnenvaart (Biesemans, 2009). Dankzij de splitsing tussen vracht- en personenverkeer, zijn de risico's enorm verlaagd. Dit veilige kenmerk staat toe gevaarlijke producten te transporteren.

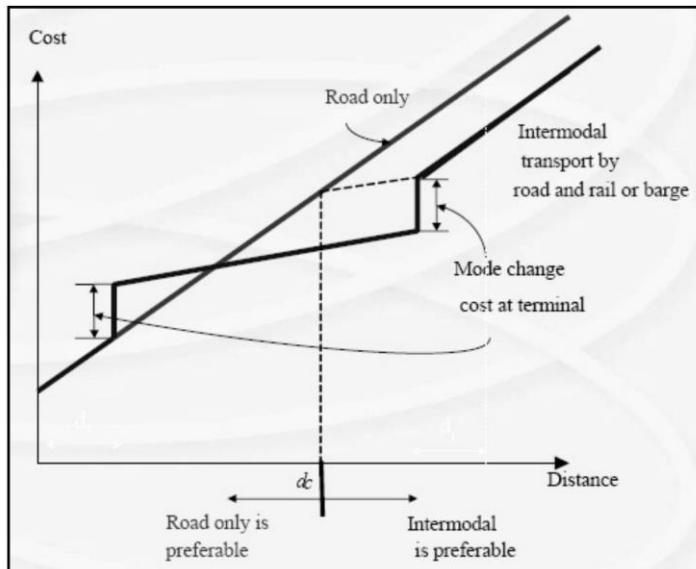
Tot slot is het congestieprobleem bijna niet-bestaande bij binnenvaart. Geuens (2007) legt uit dat file wel kan ontstaan bij een slecht beheer van de waterwegen en door de voorrangsregel voor zeeschepen. Dit transport heeft namelijk de prioriteit ten opzichte van binnenvaartschepen. Maar in het algemeen vindt congestie bijna niet plaats binnen dit transport.

Naast de voordelen die binnenvaart biedt, zijn er ook nadelen verbonden aan het transport die hieronder besproken worden.

Het transport wordt gezien als een traag vervoersmiddel (Geuens, 2007). Enerzijds omdat het slechts een gemiddelde snelheid van 10km/uur behaalt, anderzijds omdat men rekening moet houden met wachttijden aan sluzen en bruggen. Dit beperkt de variatie aan producten dat men kan vervoeren zoals werd besproken bij spoorwegtransport.

Vervolgens is de flexibiliteit zeer beperkt door de vaste planningen en de afhankelijkheid van het waterwegennetwerkbeheer (Bielemans, 2009). Hierdoor wordt het moeilijk in te spelen op veranderingen. Aangezien er vaak containers van verschillende bedrijven vervoerd worden op één boot, moet er met ze hen allen rekening gehouden worden. Men kan het schema zodus niet veranderen omwille van de wensen van één onderneming.

Het derde nadeel omvat de overslagkosten. Binnenvaart wordt zeer vaak gecombineerd met andere transportmodi om aan de eindklant te kunnen leveren (Bielemans, 2009). Steeds wanneer er van transportmiddel veranderd wordt, dient er een overslag te gebeuren van de goederen. Deze kosten moeten in rekening worden genomen bij het evalueren van binnenvaart, daar deze kosten hoogstwaarschijnlijk aan bod zullen komen binnen het volledige traject. De totale kost, overslagkost inbegrepen, kan verspreid worden dankzij de schaalvoordelen die vaak te paas gaan met dit type transport. Echter moet men hiervoor een aanzienlijk traject afleggen alvorens het voordelig wordt. Het intermodaal transport, namelijk de combinatie van verschillende transportmodi, wordt voordelig vanaf de zogenaamde 'kritische drempelafstand' (Vanderhenst, 2008). Vanaf een bepaalde afstand is het voordeliger twee of meerdere transportmodi samen te voegen in plaats van met één modus het volledige traject af te leggen, zoals waargenomen kan worden in onderstaande figuur.



Figuur 6: Kritische drempelafstand, Vanderhenst (2008), pagina 12.

Tot slot wordt de afhankelijkheid van het klimaat beschouwd. Schweighofer (2014) legt uitgebreid uit dat extreme weeromstandigheden het transport kunnen vertragen, bemoeilijken en/of verbieden. Vijf elementen worden nader bekeken, namelijk een te hoog waterniveau, een te laag waterniveau, vorst, zichtbaarheid en wind.

Een te hoog waterniveau kan voortvloeien uit hevige regenval en/of gesmolten sneeuw. Dit resulteert in veel extra water dat de waterwegen moeten opnemen. Indien het niveau te hoog is, kan dit in het ergste geval een opschorting van het transport betekenen. Meestal veroorzaakt het vertragingen, schade aan het vaartuig omwille van drijfhout, wijzigingen van de oevers en stromen, schade aan de infrastructuur, De gevolgen van een te hoog waterniveau, en dan vooral van overstromingen, worden vooral gedragen door het waterwegennetwerk en niet door het transport zelf. Deze problematiek komt gelukkig slechts enkele dagen per jaar in Europa voor.

Het tegengestelde van te veel water kan echter ook moeilijkheden teweeg brengen. Droogte als gevolg van lange periodes zonder neerslag, versterkt door hoge temperaturen die evaporatie stimuleren, is een tweede element dat binnenvaart deels bepaalt. Droogte veroorzaakt te lage waterlevels waardoor de snelheid van de stroming wordt aangetast. Deze stroming is belangrijk voor de draagcapaciteit, de vaartijden en het verbruik van het vaartuig. De droogteproblematiek houdt meestal langer aan dan overstromingen waardoor het een groter effect kan hebben op het transport. Hierdoor wordt het als een zeer belangrijk element ervaren en wordt er ook sterk gefocust op dit fenomeen.

De derde klimaat gerelateerde invloed op het transport, betreft de vrieskou. In principe is ijs op waterwegen geen groot probleem. Echter, wanneer het ijs te dik is en de vaartuigen er niet meer door kunnen varen, kan het een serieuze impact hebben op het transportsysteem. Enkel indien er vaak en aan hogere snelheden wordt gevaren, zal de waterweg het ijs kunnen trotse-

ren. De infrastructuur kan aangetast worden zoals bijvoorbeeld sloten en sluizen die niet meer vlot openen. De vries kan ook schade brengen aan de navigatieborden waardoor de veiligheid in gering gebracht wordt.

Dit introduceert het vierde element, namelijk het zicht. Mist, hagel, sneeuwval, ... kunnen het zicht beperken waardoor vaartuigen in die gevallen gebruik moeten maken van een radarsysteem. Dit bemoeilijkt het transport en kan effect hebben op de planning. De boten worden dan verwacht een aangepaste snelheid te hanteren, waardoor het transport meer tijd in beslag neemt dan initieel voorzien. Bepaalde schepen, bijvoorbeeld konvoeien, worden zelfs verboden zich nog te verplaatsen wanneer het zicht belemmerd is. Voor de meeste schepen die varen op binnenlandse waterwegen, vormt het echter geen groot obstakel aangezien deze meestal voorzien zijn van de aangepaste technologie. Enkel de snelheid hoort aangepast te worden waardoor het transport slechts vertraging kan oplopen.

De laatste invloed van het milieu op het transport, wordt vertegenwoordigd door de wind. Doorgaans betekent wind geen grote hindernis voor binnenvaart daar de vaartuigen meestal voldoende breed zijn om stabiliteit te verzekeren. Open vrachtschepen met containers hebben echter een groter risico de stabiliteit te verliezen door windvlagen. Containers die onvoldoende vastzitten hebben dan de kans te beginnen schuiven als gevolg van de wind. Dit fenomeen kan versterkt worden indien de containers leeg zijn en zodus minder weerstand bieden. Containers kunnen verloren gaan ten gevolge van het schuiven en/of veel schade aanrichten. Deze schade kan aan de inhoud zijn of aan het vaartuig zelf, wat in beide gevallen hoge kosten met zich meebrengt. Sterke winden kunnen daarenboven een interruptie teweegbrengen van de navigatie en kunnen de manoeuvreerbaarheid beperken waardoor vertragingen kunnen opduiken.

2.4. Pijpleidingen

Pijpleidingen zijn vaak een vergeten transport bij het opsommen van transportmodi. Desalniettemin wordt het transport dagelijks door iedereen gebruikt en vormt het de basis van onze levensstijl. De modus wordt namelijk het meest gebruikt voor het vervoeren van olie en gas, dat samen 55% van onze energie bevoorraadt (Hopkins, 2007). Iedereen is als het ware een stakeholder, belanghebbende, van energie en zodus ook van het transport.

2.4.1. Evaluatie transport

De transportmodus heeft vele voordelen die deels besproken worden door Liu (2003).

Ten eerste kan een pijpleiding grote hoeveelheden vloeistof vervoeren waardoor het een gemakkelijke tool wordt voor het transporteren van bijvoorbeeld olie, gas en water. Dit zijn drie belangrijke producten die op elk moment van de dag benuttigd worden. Naast deze producten zijn vloeibare brandstoffen en energiebronnen, verwerkt uit biomassa, belangrijke elementen in onze maatschappij (Pootakham & Kumar, 2010). Deze verkrijgen steeds meer aandacht aangezien ze carbon neutraal zijn. Dit betekent dat de hoeveelheid CO₂ die wordt vrijgegeven bij verbranding van deze biomassa, ongeveer evenveel is als de hoeveelheid die opgenomen wordt door de natuur. De bio-olie die voortvloeit uit de biomassa heeft een stroperige consistentie, en kan getransporteerd worden via pijpleidingen of trucks. Uit het onderzoek van Pootakham en Kumar (2010) blijkt dat het minder energie kost om bio-olie via pijpleidingen te vervoeren dan via wegvervoer indien er gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare energie. Indien daarentegen kolen gebruikt worden, zal het wegtransport hier een lagere emissie uitstoot genereren.

Daarnaast is de kost voor het vervoeren van vloeistof doorheen pijpleidingen heel laag in vergelijking met andere modi. Daarentegen zijn vaste materialen duurder via pijpleidingen dan vloeibare, omdat dit een complexer concept is. Doch is het vaak nog steeds goedkoper dan via andere transporttypes.

Daarenboven is de veiligheid voor het transport van vloeibare materialen beduidend hoger via pijpleidingen. Deze modus is 40 keer veiliger dan spoorwegtransport en tot 100 keer veiliger dan wegvervoer (Hopkins, 2007). Liu (2003) voegt hier echter aan toe dat gaspijpleidingen onder hoge druk kans hebben op ontploffing. In dit geval zal er veel schade veroorzaakt worden. Desalniettemin is het nog gevaarlijker indien deze gassen ontploffen in bijvoorbeeld treinen of vrachtwagens. De populatie en haar omgeving is bijgevolg veiliger wanneer pijpleidingen gebuikt worden.

Vervolgens verbruiken pijpleidingen weinig energie. Wegtransport en zelfs spoorwegtransport hebben beide een hogere intensiteit op vlak van energieverbruik.

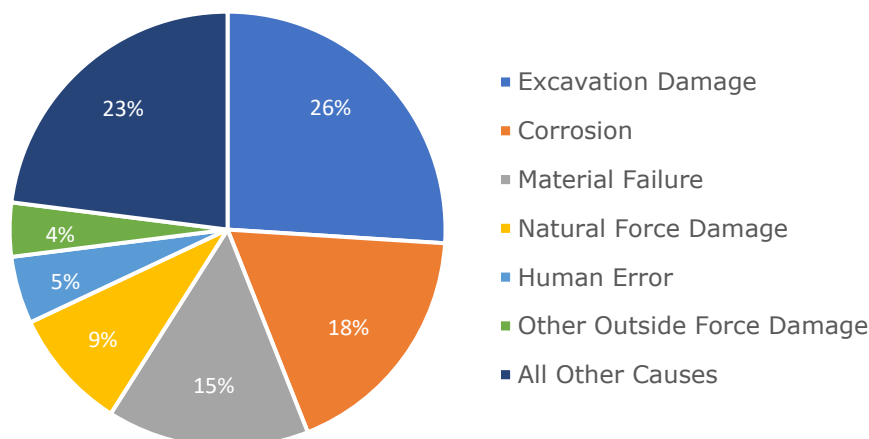
Dit voordeel introduceert meteen het zesde pluspunt, namelijk de milieuvriendelijkheid van het transport. Er zijn weinig negatieve externe effecten verbonden aan dit transport. Dit is voornamelijk te danken aan de vaak ondergrondse locatie van pijpleidingen. Hierdoor ondervindt men

er geen geluidshinder van of verstoort de modus het landschap niet. Ook file vormt geen probleem bij pijpleidingen waardoor er een kleiner risico op ongelukken bestaat. Bovendien is er geen sprake van directe luchtvervuiling. Liu (2003) duidt wel aan dat de mogelijkheid tot vervuiling nog steeds bestaat wanneer een lek in de pijpleidingen ontstaat. Echter is de kans dat er geknoeid wordt met vloeistoffen groter bij weg- of spoorwegtransport.

Pijpleidingen hebben een grote vorm van autonomie en worden door weinig elementen beïnvloed. Dankzij de automatische regelingen en een uitgebreide infrastructuur, is er weinig arbeid voor nodig. Hierdoor kan het transport ook 24/7 werken. Overigens wordt het transport niet beïnvloed door externe factoren zoals bijvoorbeeld het weer. Dit voordeel kan meteen gelinkt worden aan een hoge betrouwbaarheid. De autonome en continue werking is bestand tegen stakingen, feestdagen, tijdschema's,....

Naast de vele voordelen zijn er echter ook enkele nadelen die niet aan de kant geschoven mogen worden. Hieronder worden de meest voorkomende risico's verbonden aan pijpleidingen beschreven.

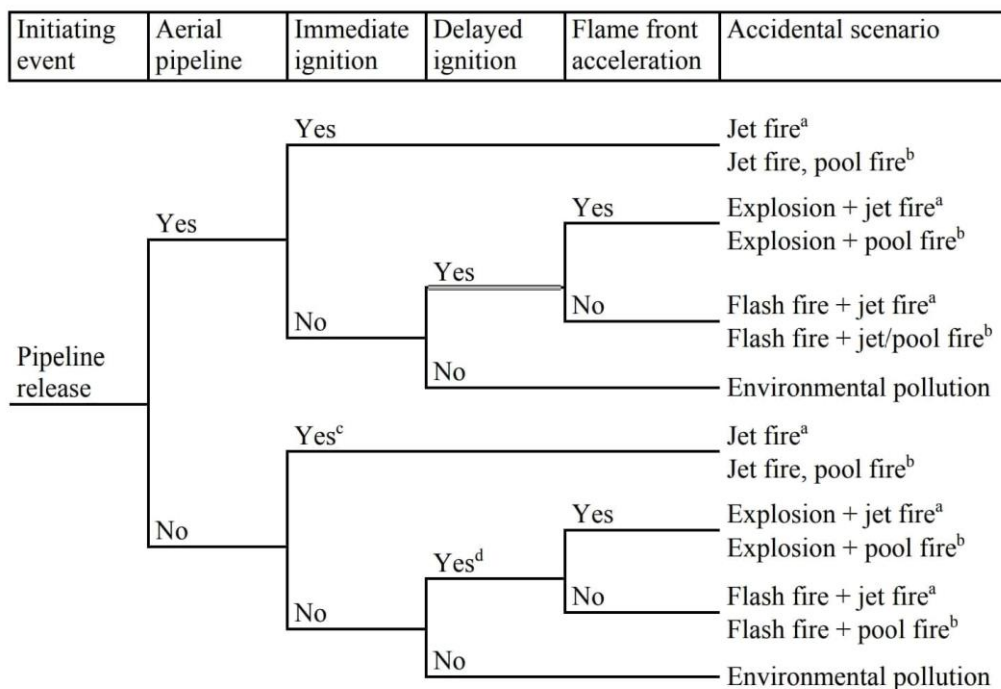
Fang et al. (2019) bespraken het risico van het installeren van een gaspijpleiding. Het aanleggen van de leidingen is een gevaarlijke taak met veel verantwoordelijkheid. Er is enorm veel dat mis kan gaan en indien er zich een probleem voordoet, kan dit zware gevolgen hebben. Deze consequenties worden later verder toegelicht. Daarnaast is een goed onderhoud van uiterst belang. Indien men onregelmatig onderhoudt, kunnen er zich sneller catastrofale accidenten voordoen. Shin et al. (2018) deden onderzoek naar de mogelijke oorzaken van pijpleidingincidenten. De resultaten zijn terug te vinden in onderstaand diagram. Schade aan de pijpleidingen als gevolg van opgravingen, zijn de grootste oorzaak van accidenten. Daarnaast is roest een grote reden van ongelukken. Grondig en regelmatig onderhoud is zodus noodzakelijk en een management omtrent het beheer van de risico's, kan het risico met 56.8% beperken (Shin et al., 2018).



Figuur 7: Hoofdoorzaken van pijpleidingincidenten 1998 - 2008, Shin et al. (2018).

Pijpleidingen zijn het meest gebruikte transport voor vloeistoffen en daarbij ook de veiligste voor deze producten. Echter hangt er ook een nadeel aan dit voordeel vast. De vloeistoffen die het meest worden vervoerd door pijpleidingen zijn vaak ontvlambaar of giftig omwille van het veilige karakter van het transport (Ramirez-Camacho et al., 2017). Dit betekent echter dat een eventueel accident een groot risico inhoudt aangezien het meteen een impact kan hebben op het materiaal, de mens en het milieu. De gevolgen zijn afhankelijk van de hoeveelheid en eigenschappen van het gelekte product. Daarnaast worden deze consequenties bepaald door het type aangetaste zone, namelijk landelijk of stedelijk. De niet-ontkenbare rol die pijpleidingen vervullen in het dagelijks leven waarbij het mensen, bedrijven en landen connecteert, zorgt ervoor dat een probleem niet onopgemerkt voorbij kan gaan.

Ramirez-Camacho et al. (2017) onderzochten de mogelijke scenario's van accidenten. Deze scenario's worden beïnvloed door de kenmerken van het gelekte materiaal (ontvlambaarheid, giftigheid en vluchtigheid), de ligging van de pijpleiding (ondergronds of aan de oppervlakte), de karakteristieken van de manier waarop het lek ontstond (scheur omwille van een boor, een opening, ...), de weeromstandigheden en de omgeving (landelijk of stedelijk). De mogelijke consequenties worden in onderstaande figuur weergegeven. Het meest voorkomende gevolg van de accidenten is vuur, gevolgd door explosies. De reden hiervoor is dat de meeste vloeistoffen die getransporteerd worden via pijpleidingen, ontvlambaar zijn.



^a Flammable gases.

^b Flammable and volatile liquid materials.

^c Only if the jet creates a crater.

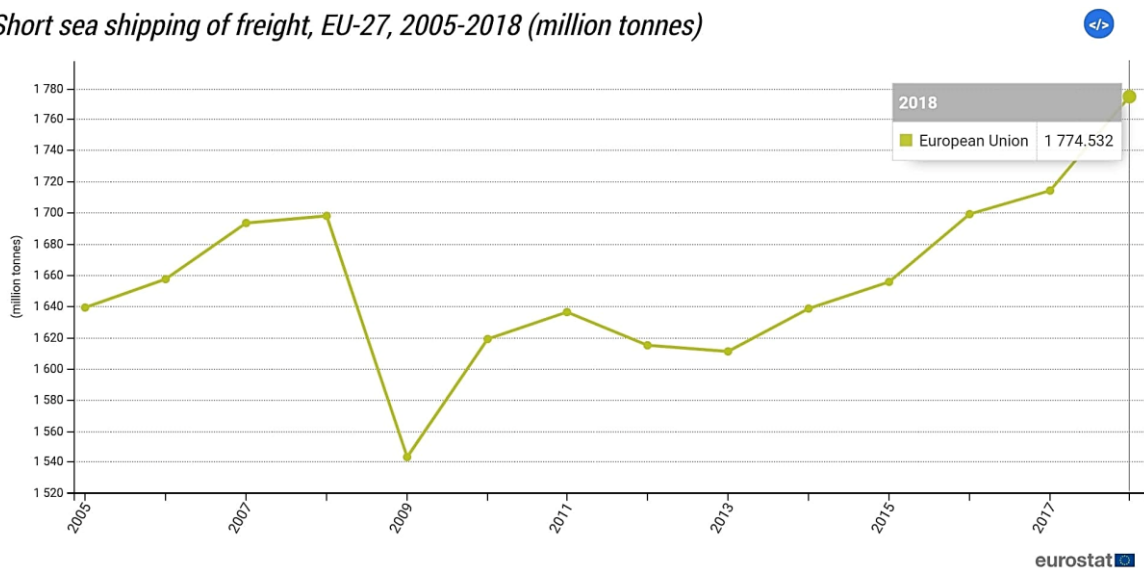
^d If there is a crater or if gas/vapor flows through the organize into the atmosphere.

Figuur 8: Boomdiagram: mogelijke gevolgen lek in pijpleiding met gevaarlijke stoffen, Ramirez-Camacho et al. (2017), pagina 4.

2.5. Zeevaart

De significante expansie van globale handel, technologische vooruitgangen en steeds veranderende politieke scenario's omwille van de alsmaar veranderende klimaatomstandigheden, hebben de ontwikkeling van de maritieme industrie getekend (Caschili & Medda, 2012). Het maritieme transport gaat hand in hand met de evolutie van de havens. Het Europese Parlement geeft aan dat er veel geïnvesteerd werd in de havens waardoor deze grote transformaties ondergingen op organisatorisch gebied (Union, 2010). In onderstaande grafiek wordt het toenemende belang van het maritieme transport geïllustreerd.

Short sea shipping of freight, EU-27, 2005-2018 (million tonnes)



Figuur 9: Short sea shipping van vracht, Eurostat (2020).

In de literatuur wordt er een onderscheid gemaakt tussen *short sea shipping* (SSS) en *deap sea shipping* (DSS). SSS is het maritieme transport van goederen over relatief korte afstanden, in tegenstelling tot DSS die zich tussen verschillende continenten beweegt (Eurostat Glossary, 2020). In deze sectie zal er gefocust worden op SSS waarbij Europa centraal staat.

2.5.1. Evaluatie transport

Maritiem transport biedt veel voordelen die gelijkend zijn aan die van binnenvaart. Daarnaast bezit dit transporttype nog andere voordelen die Paixao en Marlow (2002) onderzochten en die in deze sectie worden besproken.

In Europa ligt ongeveer 60% à 70% van alle industrie- en productiecentra binnen een straal van 150 km à 200 km van de kust. Bovendien heeft Europa een uitgebreid netwerk van binnenlandse waterwegen dat de weg en zee in verbintenis zet. Dit biedt zeevaart een geografisch voordeel waardoor door-to-door transport in beperkte mate mogelijk is, vertrekkende vanuit maritiem transport.

Vervolgens kan zeevaart genieten van schaalvoordelen dankzij de lange afstanden die ze aflegt. De schaalvoordelen worden ook mede vertegenwoordigd door de capaciteit. Hierdoor kan het transport aan lagere prijzen aangeboden worden. Dankzij de grote capaciteit van de schepen, zijn hoge investeringen voor extra ruimte niet snel nodig. De meeste grote investeringen worden volbracht bij het betreden van de markt. Wanneer men een speler is die deze investeringen achter de rug heeft, heeft men een competitief voordeel. Men kan vanaf dan namelijk de aandacht schenken aan het ontwikkelen van transportsystemen.

Het derde voordeel gaat gepaard met de capaciteit, namelijk die van de zee. Dankzij de ongeli-miteerde capaciteit van de zee, zijn er geen extra kosten verbonden aan het varen. Een extra schip op zee, heeft geen directe impact op de andere, reeds varende, schepen. De externalitei-ten zijn geringer dan bij transportmodi die zich op land begeven, waar er vaak wetten en regels worden opgelegd door lokale autoriteiten. Zo mag men bijvoorbeeld in Frankrijk, Portugal en Spanje niet 's avonds en tijdens de weekends rijden. Andere landen voorzien de transporteurs van extra taxen zoals de Eurovignette. Aangezien zeevaart geen andere transporteurs beperkt, zijn dergelijke wetten en regels hier niet van toepassing. Schepen mogen alle dagen van het jaar gebruik maken van de oceaan, wat een enorm voordeel biedt.

Investeringen in havens en het onderhoud ervan, kosten relatief weinig in vergelijking met het weg- en spoorwegtransport. De ontwikkeling van deze laatstgenoemde netwerken eisen name-lijk meer aandacht. Niet enkel de wegen en sporen moeten aangelegd worden, ook bruggen en tunnels zijn noodzakelijk om geen versnippering van het gebied te creëren. Daarentegen ver-toeven havens vaak aan de rand van het land waardoor extra investeringen niet nodig zijn om de omliggende regio intact te houden. Het is echter wel belangrijk op te merken dat deze inves-teringen gerelateerd zijn aan het grote kader van het transport. Als gebruiker kan men vaak genieten van de reeds aangelegde infrastructuur, en dan is bijvoorbeeld een truck aankopen veel prijsvriendelijker dan een schip.

Het volgende voordeel dat maritiem transport biedt, is haar milieuvriendelijkheid. Zeevaartope-raties hebben opmerkelijk lagere CO₂ emissies ten opzichte van andere transportmodi zoals weg- en spoorwegtransport (Svindland & Hjelle, 2019). Harald en Fridell (2012) onderzochten de milieuvriendelijkheid van SSS grondig en konden hieruit besluiten dat het transport haar groene label verdient. Rekening houdend met realistische snelheden, vrachtladingen en afstan-den, werd geconcludeerd dat maritiem transport een voordelige modus voor het klimaat is.

Naast de voordelen die zeevaart biedt, zijn er echter ook nadelen die niet achterwege gelaten kunnen worden. Dynkin (2002) deed onderzoek en vond een reeks zwaktes van het transport.

Ten eerste is de traagheid van het transport een groot nadeel dat men niet kan negeren. Ener-zijds moet er gewacht worden op alle containers om het schip te vullen alvorens te kunnen ver-trekken. Daar er weinig bedrijven een volledig schip zelf kunnen vullen, moeten verschillende ondernemingen rond hetzelfde tijdstip containers willen transporteren opdat deze gegroepeerd kunnen worden op één schip. Anderzijds is de snelheid van het schip relatief laag. Het transport duurt vaak dagen of zelfs weken in tegenstelling tot uren bij de meeste andere modi. Dit is

deels ook te wijten aan de boog die men in zee rond het vaste land moet maken, waartegen andere modi zich dwars door het land kunnen verplaatsen. De combinatie van deze twee factoren, zorgt ervoor dat het transport een aanzienlijke tijd in beslag neemt.

Aanvullend op het eerste nadeel wordt het laden en lossen beschouwd (Li & Vairaktarakis, 2004). Voor het gebruik van zeevaart zijn andere modi nodig om de goederen tot aan het schip te brengen. Eerst moet het aangemeerde schip uitgeladen worden op andere modi zoals bijvoorbeeld treinen en trucks. Vervolgens wordt het schip weer ingeladen met vracht en/of containers. Deze handelingen nemen tijd in om te volbrengen. Daarnaast is er ook arbeid nodig om de machines en kranen te besturen en te begeleiden. Gewoonlijk houdt het transport zes tot tien keer laden en lossen in (Dynkin, 2002). Hieraan wordt toegevoegd dat bij elke operatie van laden en lossen, er een kans bestaat dat de goederen beschadigd worden of verloren gaan.

Het derde probleem dat gelinkt wordt aan zeevaart, is de veiligheid. Het blijft een transporttype dat slecht scoort op vlak van ongelukken (Rodriguez & Fraguera, 2007). Deze accidenten kunnen zowel gevolgen hebben voor de arbeiders als voor het milieu. Er bestaan verschillende oorzaken die kunnen leiden tot een accident (Akten, 2006). Natuurlijke redenen, technische defecten, route condities, schip gerelateerde factoren, menselijke fouten en cargo gerelateerde factoren zijn de meest voorkomende. Daarbij komt dat het drukken van transportkosten één van de vele doelen is die de sector voor ogen heeft. Een manier om deze te beperken, is de grootte van de vaartuigen te maximaliseren opdat men van schaalvoordelen kan genieten. Echter, wanneer er dan een accident gebeurt, is de schade immens groot. Overigens is het moeilijker te manoeuvreren met een schip van dergelijke omvang, met als gevolg dat het risico op een accident stijgt. Onderzoek wijst uit dat de grootste oorzaak van accidenten menselijke fouten zijn (Akten, 2006). Bijna 80% van alle ongevallen wordt door een humanitaire vergissing vertegenwoordigd. Vervolgens zijn weeromstandigheden de grootste aanleiding tot ongelukken.

De voorgenoemde oorzaken kunnen leiden tot het botsen, kapseizen, zinken, of stranden van het vaartuig (Akten, 2006). Daarnaast kan er zich ook vuur vormen en/of kunnen er explosies ontstaan. De gevolgen zullen zowel door de mens als door het milieu gedragen worden. De grootste consequenties voor het milieu hebben betrekking tot de olievervuiling wanneer een vaartuig wordt beschadigd. Het is nefast voor het leven onder water en kan ook gevolgen hebben voor de vegetatie ervan. Omwille van de mogelijke catastrofale gevolgen voor het milieu en de mens, zijn Europese landen gaan samenwerken om de veiligheid te verbeteren.

2.6. Luchtvaart

Luchtvaart speelt een belangrijke rol in ondernemingen waarbij snelle leveringen een vereiste zijn (Rahman et al., 2017). Snelle leveringen zijn vaak gewenst bij dure goederen, luxueuze artikelen en tijdsgevoelige producten. Enkele voorbeelden zijn medicijnen, juwelen, dieren en persoonlijke goederen. Rahman et al. (2017) onderscheidt vijf factoren die essentieel zijn om een kwaliteitsvolle luchtvaartaanbieder te definiëren.

Ten eerste is de attitude van de contactpersoon het belangrijkste element wanneer er onderhandeld wordt met een mogelijke transportpartner. Deze houding beïnvloedt namelijk hoe de verdere informatie tussen de verscheper en de provider zal uitgewisseld worden volgens de respondenten van het onderzoek. Indien een goede relatie tot stand komt, zal er sneller gecommuniceerd worden wanneer één van de partijen vertraging oploopt, waardoor de andere hier beter op kan inspelen.

Aansluitend bij de attitude, is het belangrijk dat er goed gecommuniceerd wordt en de informatie juist gedeeld wordt. Alle respondenten geven aan dat IT systemen hier een groot voordeel in kunnen bieden. Ze duiden er ook op dat ze niet alle informatie delen omdat sommige zaken confidentieel zijn. *Forecast* van productie wordt bijvoorbeeld wel gedeeld opdat de partijen hierop kunnen anticiperen.

Ten derde is de prijs uiteraard een belangrijke factor die de kwaliteit van de service representeert. De prijs mag, en moet zelfs, hoog zijn aangezien luchtvaart kostelijk is. De verscheperen zijn bereid veel te betalen, zolang hun product op tijd aankomt zonder enige tekortkomingen. Luchtvaart is als het ware de elite van transportmodi waarvoor men gerust dieper in de portemonnee wil graven. Aan de voorwaarden moet er desalniettemin perfect voldaan worden.

Het voorlaatste element is de betrouwbaarheid, namelijk het veilig afleveren van het product. Naast het fysiek veilig afleveren van het goed, moet deze ook in de juiste conditie zijn, zonder enige beschadigingen of defecten. Bedrijven die gebruik maken van luchtvaart om hun goederen te verscheppen, hechten veel belang aan de kwaliteit en de staat van hun producten. Hierom moet het transport dezelfde kwaliteit kunnen leveren.

Tot slot is de snelheid van het transport van belang. Er kan perfect berekend worden hoelang het traject zal duren, en deze tijdslots moeten gerespecteerd worden. De verscheperen hechten dan ook veel belang aan het tijdig geleverd krijgen van hun producten. Vliegtuigen kunnen binnen een aantal uren reeds lange afstanden afleggen waardoor de modus de snelste is van alle transportmodi.

2.6.1. Evaluatie transport

De voorwaarden om een goede luchtvaartprovider te zijn, werden hierboven geformuleerd. De voordelen die het transport kan bieden, kunnen hier reeds voor een groot deel uit afgeleid worden. Echter moet er nog dieper ingegaan worden op enkele andere pluspunten van de modus.

De statistieken van Europa geven een betrouwbaar beeld over de veiligheid van luchtvaart (Eurostat, 2020). Er wordt een onderscheid gemaakt in algemene luchtvaart boven en onder 2250 kg. Commerciële vluchten worden niet in achtning genomen. In onderstaande tabel kan waargenomen worden dat België gemiddeld scoort in vergelijking met Europa, en rekening houdend met haar grootte. In totaal is ze verantwoordelijk voor slechts 1,35% van alle ongevallen in Europa. Grote landen, zoals Duitsland en Frankrijk, hebben hogere sterftegevallen door acciden-ten. Dit kan te wijten zijn aan hun grotere bevolking wat resulteert in meer luchtverkeer in hun land. In het algemeen kan geconcludeerd worden dat luchtvaart als veilige transportmodus be-schouwd kan worden. Van alle modi, is luchtvaart veruit de veiligste en wordt dit type ook steeds meer betrouwbaar.

	Occurrence: worldwide (incl. EU territory)				Occurrence: EU territory			
	Commercial Air Transport	Aerial Work	General Aviation, aircraft above 2250 kg MTOM	General Aviation, aircraft under 2250 kg MTOM	Commercial Air Transport	Aerial Work	General Aviation, aircraft above 2250 kg MTOM	General Aviation, aircraft under 2250 kg MTOM
EU-28	537	97	33	756	188	90	33	743
Belgium	0	0	0	10	0	0	0	10
Bulgaria	0	2	0	4	0	2	0	4
Czechia	0	6	2	32	0	6	2	32
Denmark	0	0	0	5	0	0	0	5
Germany	154	12	5	161	154	10	5	153
Estonia	0	0	0	2	0	0	0	2
Ireland	224	0	0	3	0	0	0	3
Greece	1	0	0	5	0	0	0	5
Spain	123	4	0	51	7	4	0	51
France	8	14	0	235	4	11	0	230
Croatia	0	0	0	9	0	0	0	9
Italy	7	6	2	31	7	4	2	31
Cyprus	0	0	0	4	0	0	0	4
Latvia	0	1	0	4	0	1	0	4
Lithuania	0	0	0	3	0	0	0	3
Luxembourg	0	0	0	0	0	0	0	0
Hungary	0	5	0	28	0	5	0	28
Malta	0	0	0	0	0	0	0	0
Netherlands	0	0	2	11	0	0	2	11
Austria	4	1	2	8	4	1	2	8
Poland	0	3	0	26	0	3	0	26
Portugal	0	0	0	17	0	0	0	17
Romania	6	1	0	8	2	1	0	8
Slovenia	0	2	0	10	0	2	0	10
Slovakia	8	15	0	2	8	15	0	2
Finland	0	8	0	4	0	8	0	4
Sweden	2	2	0	5	2	2	0	5
United Kingdom	0	15	20	78	0	15	20	78
Iceland	0	0	0	2	0	0	0	0
Liechtenstein	0	0	0	0	0	0	0	0
Norway	15	3	0	12	0	1	0	0
Switzerland	20	3	14	48	0	0	14	17

Note: Provisional data.

Source: Eurostat (online data code: tran_sf_aviaca, tran_sf_aviaaw, tran_sf_aviagah, tran_sf_aviagal)

eurostat 

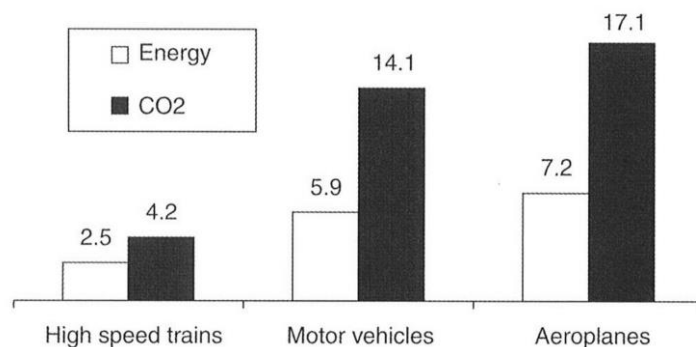
Figuur 10: Aantal personen overleden in een vliegtuigaccident 2014 - 2018, Eurostat (2020).

Het tweede voordeel van luchtvaart gaat gepaard met de globalisering. Deze verplicht bedrijven er namelijk toe nog meer in te spelen op de consumententevredenheid en winstmaximalisatie (Ozalp & Suvaci, 2010). Een loyaal klantenbestand dat minder prijsgevoelig is, is hierbij interessant. Het just-in-time (JIT) principe zorgt voor een kostenvoordeel zodat bedrijven de winstmaximalisatiestrategie kunnen uitvoeren. JIT is een managementsysteem omtrent materialen waarbij men geen, of zeer beperkte, voorraad houdt. Dit is kostefficiënter, maar eist wel een

zeer stipte en snelle logistiek waarbij luchtvaart een grote rol kan spelen. Dankzij de hoge snelheid van de vliegtuigen, kan de waardeketen enorm versneld worden (Sales, 2016). De gebruikers van luchtvaart zijn dan ook bereid een meerprijs te betalen voor het snel leveren van hun goederen (Kreutzberger, 2008).

Vervolgens worden de zwaktes van het transport nader bekeken. De voordelen die de modus biedt, hebben namelijk een keerzijde.

Het eerste nadeel is meteen ook het zwaarste, namelijk het milieuonvriendelijke karakter van het transport. Luchtvaart verbruikt enorm veel energie enerzijds, en stoot heel veel uitlaatgasen uit anderzijds. Onderstaande figuur van Smith (2003) illustreert deze uitspraken.

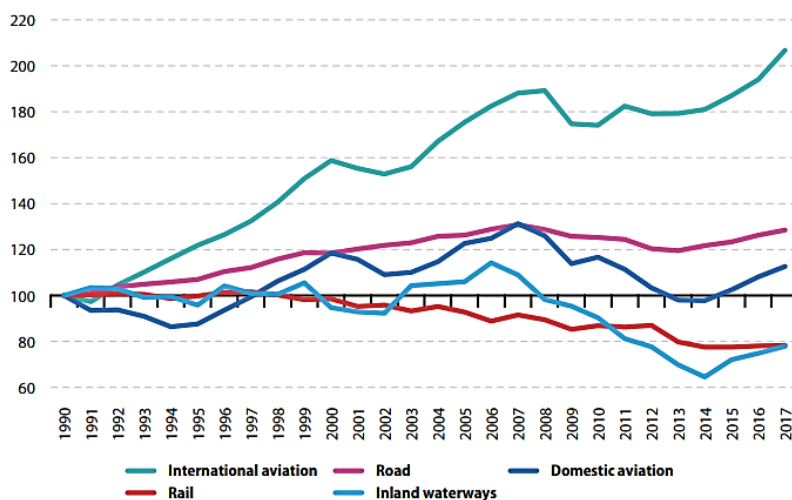


Figuur 11: Energieverbruik en CO2 uitstoot luchtvaart, Smith (2003), pagina 4.

Wanneer de verschillende transportmodi vergeleken worden, zoals geïllustreerd in onderstaande figuur, ligt het energieverbruik van internationale luchtvaart (international aviation) beduidend hoger (Eurostat, 2020). De binnenlandse luchtvaart (domestic aviation) situeert zich binnen Europa en ligt opmerkelijker lager dan de internationale. Hier zijn twee mogelijke redenen voor.

Ten eerste wordt er binnen Europa veel meer gebruik gemaakt van andere transportmodi zoals treinen en vrachtwagens. Luchtvaart voor goederen wordt hier minder benut aangezien de afstanden relatief kort zijn en men dus op andere modi kan rekenen. Wanneer men daarentegen vracht naar een ander werelddeel moet vervoeren, zijn de afstanden zodanig groot dat deze veel tijd in beslag nemen. In dat geval is luchttransport interessant indien de goederen zich snel moeten verplaatsen.

Figure 1.3.7: Energy consumption by transport mode, EU-28, 1990-2017
(1990 = 100, based on tonnes of oil equivalent)



Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_s)

Figuur 12: Energieconsumptie per transportmodus 1990 - 2017, Eurostat (2020).

De grafiek geeft duidelijk weer dat binnenvaart en spoorwegtransport milieuvriendelijker zijn dan hun collega's in de transportsector. De afgelopen 30 jaar is hun energieverbruik zelfs verminderd. De technologische vooruitgangen mogen hier voornamelijk de eer van opstrijken. De globalisatie heeft een groot aandeel in de stijging van het energieverbruik van internationale luchtvaart. Dit type transport wordt namelijk steeds meer gebruikt door de lange afstanden die producten nu vaak afleggen. Goederen van een producent in China naar een klant in Europa transporteren, zijn dagdagelijkse praktijken waar niemand nog van opkijkt. De steeds grotere eisen van de consument dragen hier voor een groot deel de verantwoordelijkheid (Sales, 2016). De e-commerce heeft een cultuur opgebouwd waarbij klanten gewend zijn meteen hun goederen ter beschikking te krijgen.

Het tweede nadeel van luchtvaart, is het prijskaartje dat eraan vasthangt (Sales, 2016). Er zijn aanzienlijke investeringen nodig zoals materiaal, gebouwen, technologie, personeel en training. Deze vereisen allen veel kapitaal. Daarnaast zijn de brandstofprijzen heel volatiel en hebben deze een directe impact op de kost van vliegen. Echter kan er kritisch stilgestaan worden bij de prijs van luchtvaart. Gezien de vele nadelige gevolgen voor het klimaat, is het mogelijks beter dat het transport niet voor iedereen en alles toegankelijk is.

3. Klassieke modellering

Deze sectie biedt een literatuuroverzicht omtrent vrachttransportmodellen in Europa (De Jong, Gunn, & Walker, 2004). De Jong et al. geven aan dat vele vrachttransportvoorspellingsmodellen oorspronkelijk ontwikkeld werden voor personenvervoer. Deze modellen voor personen bestaan uit vier grote stappen die volgens de literatuur ook van toepassing zijn op vrachttransport. Desalniettemin zijn er uiteraard verschillen binnenin elke stap tussen de personen- en vrachtbenadering.

Het eerste contrast is de diversiteit van de beslissingsmakers bij vrachttransport. Er zijn veel belanghebbenden met elk hun eigen zeggenschap waardoor er met velen rekening moet gehouden worden. Enkele voorbeelden zijn de verscheper, transporteurs, tussenpersonen, chauffeurs en operatoren. Vervolgens is de diversiteit van de getransporteerde goederen een verschil. Bij personenvervoer is het duidelijk wat er vervoerd zal worden, namelijk mensen. Daarentegen zijn er miljoenen mogelijkheden bij vrachttransport met elk hun eigen kenmerken. Tot slot is er bij vrachttransport een beperkte hoeveelheid data beschikbaar in tegenstelling tot personenvervoer. Dit is volgens De Jong et al. (2004) voornamelijk te wijten aan het geheimhoudingsbeleid waar vele bedrijven voor opteren inzake de bescherming van hun data.

De vier grote stappen die deel uitmaken van de klassieke methode voor vrachttransportmodellering, worden hier kort toegelicht en vervolgens uitgebreid besproken aan de hand van bestaande modeleertechnieken.

- **Productie en attractie**
In deze stap worden de hoeveelheden goederen bepaald die getransporteerd worden vanuit verschillende oorsprongzones. Daarnaast ook de hoeveelheden die naar de verscheidene bestemmingen zullen gaan. De hoeveelheden worden uitgedrukt in aantal ton. Bij tussenstadia kan de dimensie echter ook monetair zijn. Deze stap zal later in de thesis voorspeld worden aan de hand van een trip generatiemodel.
- **Distributie**
De stroom van de te transporteren goederen tussen hun origine en bestemming wordt gekozen. Deze stroom wordt aangeduid in aantal ton.
- **Modale keuze**
De allocatie van de goederenstromen aan types transport wordt hier behandeld. Er zijn zes transportmodi waartussen gekozen kan worden en waar combinaties uit kunnen ontstaan.
- **Toewijzing**
Na het omzetten van de vrachtstromen in aantallen voertuigen, kunnen deze toegewezen worden aan netwerken.

3.1. Modellen voor productie en attractie

In de praktijk zijn er vier type modellen uitgewerkt voor deze eerste stap. Deze modellen zijn elk gebaseerd op samengevoegde gegevens:

- Trend and time series models
- System dynamics models
- Zonal trip rate models
- Input-output and related models

De *trend models* leiden de toekomst af uit historische trends die werden waargenomen. Data van tijdreeksen worden gebruikt om verschillende soorten modellen te maken, met elk een andere graad van complexiteit. Statistische analyses van *time series* kunnen hele simpele groei-modellen geven tot gecompliceerde autoregressieve-voortschrijdend-gemiddelde modellen. Het laatstgenoemde model gebruikt enkel informatie in verband met vrachtwagensstromen en is slechts bedoeld voor korte termijn voorspellingen. Bij tijdreeksmodellen kan er met verhelde-rende variabelen gespeeld worden zoals bijvoorbeeld een model omtrent het bruto binnenlands product.

In het AsTra (ASsessment of TRAnsport strategies), een vorm van het tweede model, worden er enkele terugkerende topics gemodelleerd. Veranderingen in getransporteerde hoeveelheden doorheen tijd, feedback van en voor de economie, ruimtelijk gebruik en het milieu zijn de voornaamste topics. Het AsTra is een project dat ontwikkeld werd door de Europese Commissie. Dit project heeft ook een macro-economische module waarmee de groei van het bruto binnenlands product voorspeld wordt. De parameters van een *system dynamics model* worden meestal niet verkregen via statistische schattingen. Ze vloeien voort uit bestaande literatuur en uit het testen van de initiële waarden op het dynamische systeem (trial & error). Dergelijk dynamisch systeemmodel kan ook de stap voor distributie en modale keuze bevatten.

De *zonal trip rates* zijn gewoonlijk afgeleid uit geclassificeerde gegevens die uit verschillende domeinen werden verzameld. Deze gegevens hebben betrekking tot de transportvolumes die van en naar de onderzochte, of gelijkaardige, zones vervoerd worden. Dit trip generatiemodel wordt later uitvoerig besproken en toegepast op Vlaamse data.

De *input-output* modellen zijn voornamelijk macro-economisch en starten vanuit een input-output tabel. Deze tabellen omschrijven wat elke sector in de economie, uitgedrukt in geldeenheden, levert aan de andere sectoren. Deze waarden bevatten ook de finale vraag van de klant, import en export. Op nationaal niveau worden er vele input-output tabellen ontwikkeld. Deze taak wordt meestal gedragen door statistische bureaus die aangesteld worden door de overheid. De modellen ontfermen zich over leveringen tussen de verschillende sectoren, maar maken geen verschil tussen regio's. Desalniettemin bestaan er ook modellen die hier wel rekening mee houden, maar deze worden minder frequent opgesteld. Wanneer er grote regio's bestaan binnen eenzelfde land, wordt er vaak gebruik gemaakt van multiregionale input-output tabellen.

Ter conclusie geeft onderstaande tabel een totaalbeeld van de vier modellen omtrent productie en attractie (De Jong et al., 2004).

Tabel 1: Overzicht productie- en attractiemodellen van vrachttransport.

Modeltype	Voordelen	Nadelen
<i>Trend and time series</i>	Beperkte datavereisten (maar van vele jaren).	Weinig inzicht in de causaliteit en beperkt bereik voor beleidsgevolgen.
<i>System dynamics</i>	Beperkte datavereisten. Kan interacties met bodemgebruik geven. Externe variabelen en variabelen voor beleidsgevolgen kunnen betrokken worden.	Geen statistische testen op parameterwaarden.
<i>Trip rates</i>	Beperkte datavereisten (gebied data).	Weinig inzicht in de causaliteit en beperkt bereik voor beleidsgevolgen.
<i>Input-output</i>	Link met de economie. Kan interacties met bodemgebruik geven. Beleidsgevolgen indien elastische coëfficiënten.	Input-output tabel nodig, bij voorkeur multiregionaal. Restrictieve veronderstellingen indien vaste coëfficiënten. Conversie van waarden naar ton nodig. Identificatie handelsstromen, import en export nodig.

3.2. Modellen voor distributie

Het distributiemodel baseert zich op de goederenstromen tussen de oorspronkelijke zones en de bestemmingen, en worden uitgedrukt in aantal ton. Daarnaast wordt er rekening gehouden met de transportkost. De meest gebruikte methode is het zwaartekrachtmodel. Het traditionele zwaartekrachtmodel is analoog aan de gravitatiewet van Newton (Anderson, 2010). Hoe dichter de bestemmingen bij hun oorsprong liggen, hoe groter de stroom van goederen zal zijn. Bijgevolg betekent dit meer totaal transport.

Naast het zwaartekrachtmodel, kan er in deze stap ook gebruik gemaakt worden van het input-outputmodel. Beide modellen worden in een overzicht gegoten waarbij de voor- en nadelen besproken worden (De Jong et al., 2004).

Tabel 2: Overzicht distributiemodellen van vrachttransport.

Modeltype	Voordelen	Nadelen
<i>Gravity</i>	Beperkte dataverreisten. Enkele beleidsgevolgen door transportkostenfunctie.	Beperkt bereik om verklarende factoren en beleidsgevolgen in te voegen. Beperkt aantal ijkingparameters.
<i>Input-output</i>	Link met de economie. Kan interacties met bodemgebruik geven. Beleidsgevolgen indien elastische coëfficiënten.	Input-output tabel nodig, bij voorkeur multiregionaal. Restrictieve veronderstellingen indien vaste coëfficiënten. Conversie van waarden naar ton nodig.

3.3. Modellen voor modale keuze

Er bestaan verschillende soorten modellen binnen deze stap waarvan de belangrijkste hier besproken worden. Volgende modellen worden onderscheiden:

- Elasticity-based models
- Aggregate modal split models
- Neoclassical economic models
- Econometric direct demand models
- Disaggregate modal split models
- Micro-simulation approach
- Multi-modal network models

Elasticity-based models reflecteren de effecten van het veranderen van slechts één variabele. Hoe verandert de uitkomst wanneer bijvoorbeeld de kost van een bepaalde transportmodus verandert? De elasticiteiten worden afgeleid uit andere modellen of via de kennis van experts. Deze methode is een aftastende manier om een eerste zicht te krijgen op de resultaten, maar is onvoldoende gedetailleerd. Wanneer er zeer beperkte data beschikbaar is, kan dit model als goede aanwijzing dienen.

Aggregate betekent verschillende gegevens samenvoegen, en dat is ook precies waar dit model voor staat. Het combineert data van verscheidene transportmiddelen tussen allerlei gebieden. Het doel van het model is te berekenen hoe groot het aandeel van een bepaalde transportmodus is. Het model dient dus niet om de absolute cijfers van transporthoeveelheden (ton) of van het verkeer (aantal voertuigen) te berekenen zoals de directe vraagmodellen doen. *Aggregate modal split models* zijn meestal binomiale of multinomiale modellen waarbij een logistische regressie gebruikt wordt (*binomial/multinomial logit models*).

Het volgende model, namelijk het *neoclassical model*, start vanuit de economische theorie van de onderneming. Aan de basis van de kostenfunctie ligt een vraagfunctie die afgeleid kan worden via de *Shephard's Lemma*. Het laatstgenoemde is een complexe tool voor zowel de consumententheorie als de producententheorie (Fuchs-Seliger, 2003).

In een *direct demand model* worden het aantal trajecten, of het aantal kilometers, voor de onderzochte transportmodus rechtstreeks met concrete cijfers voorspeld. Dit in tegenstelling tot de modellen die hierboven besproken werden waarbij het aandeel van elk transporttype afhankelijk was van de voorspelde totale vraag voor het transport.

Disaggregate modal split models gebruiken data die verkregen worden via enquêtes. Deze kunnen afgenomen worden bij transporteurs, kunnen over handelswaren gaan of ontwikkeld zijn voor het achterhalen van de voorkeuren van de respondent. De meeste vormen van dit model zijn *multinomial logit (MNL)* of *nested logit (NL)*. Deze zijn gebaseerd op een random nutmaximalisatie theorie. Hierbij is de beslissingsmaker het bedrijf, bijvoorbeeld het transportbedrijf. De indirecte nutfuncties die gebruikt worden bij personenvervoer, kunnen ook geformuleerd wor-

den binnen een bedrijfscontext, namelijk als winstfuncties. De onderliggende theorie wordt in dit geval dan random winstmaximalisatie genoemd in plaats van random nutmaximalisatie waardoor het aanleunt bij de micro-economische theorie van een onderneming.

Het voorlaatste model is de *micro-simulation approach*. Dit model schat de ritpatronen in van voertuigen en vertrekt vanuit een input-output model. Het omzetten van vracht in verzendingen, de allocatie ervan naar individuele organisaties, de toewijzing van de overslagpunten, de keuze van transporteur en vervoersmiddel, de generatie van de rondes zodat er voldoende voertuigen ingeschakeld worden en ten slotte de rondes in ritten omzetten, is allemaal inbegrepen in dit model.

Tot slot wordt nog het *multi-modal network model* beschouwd. Dit model voorspelt zowel de transportkeuze als de routekeuze. Vele modus-route combinaties worden zodanig gekozen opdat de kost geminimaliseerd wordt. Het multimodale netwerk voorziet een transportketen waarbij er gebruik gemaakt wordt van verschillende transportmodi om de volledige route te volbrengen. Bijgevolg wordt het transport complexer waarbij er niet alleen naar linken tussen de modi moet gekeken worden, maar ook naar tussenliggende terminals. De kostfunctie houdt hierdoor niet alleen rekening met het transport, maar ook met de overslagkosten en de terminals.

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de modellen voor modale keuze (De Jong et al., 2004).

Tabel 3: Overzicht modale splitmodellen van vrachttransport.

Modeltype	Voordelen	Nadelen
<i>Elasticity-based</i>	Zeer beperkte datavereisten. Snelle applicatie.	Elasticiteiten mogelijks niet overdraagbaar. Enkel impact op individuele metingen, geen synergiën.
<i>Aggregate modal split</i>	Beperkte datavereisten.	Zwakke theoretische basis. Weinig inzicht in de causaliteit. Beperkt bereik voor beleidsgevolgen.
<i>Neoclassical</i>	Beperkte datavereisten. Theoretische basis.	Moeilijk te integreren in het vierstappen model.
<i>Direct demand</i>	Beperkte datavereisten.	Moeilijk te integreren in het vierstappen model.
<i>Disaggregate modal split</i>	Theoretische basis. Potentieel om vele causale variabelen en beleidsmetingen te betrekken.	Scheidbare data nodig. (Enquête bij transporteurs, over handelswaren en/of over voorkeuren.)
<i>Micro-simulation approach</i>	Vele keuzes in handelswijze betrokken.	Ofwel grote datavereisten, ofwel vele veronderstellingen voor de

	Link met theorie.	distributies.
<i>Multi-modal network</i>	Beperkte dataverenisten. Theoretische basis. Kan elastische vraag en beleid met effect op algemene transportkost betrekken.	Weinig inzicht in de causaliteit. Meestal gebruikt voor vaste vraag.

3.4. Modellen voor toewijzing

In deze laatste stap worden voertuigen toegewezen aan routes die rekening houden met het modale netwerk en diens linken. Een aantal vrachtmodellen integreert deze stap niet. Diegenen die dit wel incalculeren, nemen meestal enkel toewijzingen voor vrachtwagens op. De toewijzing aan het wegennetwerk wordt vaak parallel aan personenvervoer gedaan aangezien vracht- en personentransport meestal van dezelfde infrastructuur gebruikmaken. Echter bestaat er ook een vorm van het model waarbij er geen rekening wordt gehouden met het modale netwerk. De gegevens worden apart bekeken waardoor de laatste twee stappen van het vierstappenmodel onafhankelijk worden uitgevoerd.

De tabel vergelijkt de voor- en nadelen van de afzonderlijke toewijzing met degene die de twee laatste stappen van de klassieke modellering combineert (De Jong et al., 2004).

Tabel 4: Overzicht toewijzingsmodellen van vrachttransport.

Modeltype	Voordelen	Nadelen
<i>Separate assignment stage</i>	Model voor modale keuze kan gescheiden worden. Staat interactie toe met personentransport indien vracht- en personentransport samen worden toegewezen.	Afwezigheid van interactie tussen vraag en toewijzing kan onrealistisch zijn; dit kan enkel herhalend gedaan worden. Transportkettingen zijn moeilijk om in te voegen, maar niet onmogelijk.
<i>Multi-modal network</i>	Substitutie tussen modi-route combinaties. Eenzelfde traject kan vervuld worden door een combinatie van verschillende transportmodi.	Weinig bereik voor controle op optimalisatieprocessen. (voor sommige <i>origin-destination</i> matrices kan de kostenminimalisatie leiden tot onrealistische modi-route oplossingen, omwille van weggelaten factoren.)

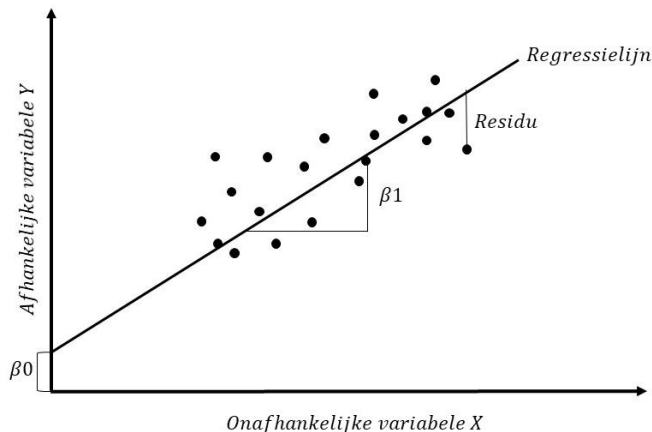
4. Lineair regressiemodel

Een regressieanalyse is een statistische techniek voor het onderzoeken van causale verbanden tussen variabelen (Tripepi et al., 2008). In welke mate een verandering van een variabele effect heeft op een andere variabele, is het doel van de analyse. Bijgevolg kan er via dergelijk model een voorspelling opgemaakt worden voor een bepaalde variabele op basis van één of meerdere andere variabelen. Er wordt dan een lineaire relatie verondersteld tussen de afhankelijke (de te voorspellen of te verklaren) variabele en een of meerdere onafhankelijke variabelen. Via een regressievergelijking wordt deze lineaire relatie uitgedrukt.

De regressie kan berekend worden aan de hand van onderstaande vergelijking waarbij $E(y)$ de te voorspellen waarde is voor de afhankelijke variabele Y . Vervolgens is β_0 het interceptiepoint en β_1 de regressiecoëfficiënt. Tot slot wordt de onafhankelijke waarde door x vertegenwoordigd. Deze laatstgenoemde waarde wordt ook de voorspellingsfactor genoemd.

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x$$

In onderstaande figuur wordt duidelijk welke rol het interceptiepoint β_0 speelt. Deze is namelijk de theoretische waarde voor Y wanneer X gelijk wordt gesteld aan nul. β_1 is de richtingscoëfficiënt van de regressielijn waardoor een stijging van één eenheid van de onafhankelijke variabele X , een voorspelde stijging van β_1 teweeg zal brengen van de afhankelijke variabele Y .



Figuur 13: Regressieanalyse.

De methode die gebruikt wordt om het interceptiepoint en de regressiecoëfficiënt te schatten, is de kleinste kwadratenmethode. Hierbij worden de parameters zodanig bepaald opdat het totaal van de gekwadraterde afwijkingen zo klein mogelijk is. De afwijkingen van de regressielijn worden residuen genoemd. In bovenstaande rechtergrafiek kan men deze verticale afwijkingen waarnemen. De regressielijn is de gemaakte voorspelling en de residuen zijn geobserveerde data. Het doel van deze methode is om de regressielijn zodanig te schatten dat er een minimum aan afwijkingen bestaat en de voorspelling bijgevolg zo dicht mogelijk tegen de realiteit aanleunt.

5. Trip generatiemodellen

Er werd reeds kort toegelicht hoe dit model, behorend tot de eerste stap productie en attractie, wordt gebruikt als deel van de vier grote stappen in de klassieke modellering. In deze sectie zal er dieper worden ingegaan op enkele modelleringstechnieken en de indicatoren die hiermee gepaard gaan.

Het trip generatiemodel is een ideale methode om de ontwikkeling van regionaal vrachttransport te voorspellen (Kulpa, 2014). Er zijn verschillende manieren om transport te schatten; Kulpa omschrijft alvast twee methodes. De eerste methode wordt het *vehicle based model* genoemd aangezien het hier over het aantal voertuigen gaat. De tweede manier is op basis van de hoeveelheid vracht, uitgedrukt in ton of in waarde, en heet het *commodity based model*. In de eerstgenoemde methode wordt er een onderscheid gemaakt in de transportmodi. Daarentegen worden bij het hoeveelheid gebaseerde model alle transportmodi samen als een geheel in achtting genomen. Voor deze twee modellen worden voornamelijk meervoudige regressie analyses gebruikt in combinatie met *trip generation rates*.

Naast het *vehicle based* en *commodity based model*, is er nog een derde aanpak, namelijk via het input-output model (Sharma & Jones, 2003). Hierbij wordt de matrix rechtstreeks berekend op basis van de goederenstromen tussen economische sectoren. Deze matrix wordt het *origin-destination matrix* genoemd. In de studie van Novak et al. (2008) werd er getracht een O-D matrix op te stellen aan de hand van twee variabelen, namelijk het soort product en de tewerkstelling per sector. Echter was er geen goede data voorhanden waardoor het model niet vervuld kon worden. Novak et al. (2008) halen aan dat dit een terugkomend probleem is waarbij de benodigde data niet publiekelijk gemaakt worden.

Vervolgens kan er ook gebruik gemaakt worden van het *ordinary least squares (OLS)* model (Bastida & Holguín-Veras, 2009). Het OLS model van Bastida en Holguín-Veras baseert zich op twee variabelen die als sterke voorspellers worden beschouwd voor vrachttransport. Enerzijds de industriesector en anderzijds het producttype, die beiden dienen als afhankelijke variabelen. Deze beïnvloeden het aantal leveringen per onderneming per dag, en bijgevolg de hoeveelheid transport.

Tot slot wordt de *cross-classification* techniek besproken (Alho et al., 2015). Dit is een schattingsmethode waarbij de *trip generation rates* een resultaat zijn van groepen data. De data worden gelinkt aan elkaar, maar de aard van de relaties blijven ongekend bij deze techniek.

Deze modeleertechnieken zijn slechts een beperkt deel van wat de literatuur te bieden heeft. Afhankelijk van de beschikbare data wordt vaak bepaald welk model uitgewerkt zal worden (Kulpa, 2014). Zelfs de meest gesofisticeerde *freight trip generation models (FTG)* geven incorrecte resultaten indien de data onzeker is of mist. Het is dan ook belangrijk aan te geven dat de benodigde data niet altijd toegankelijk zijn voor het publiek. Novak et al. (2008) benadrukten daarenboven dat de beschikbare data voor vrachttransport vaak geringer zijn dan die voor personen.

De literatuur geeft volgende onafhankelijke variabelen aan als sterke voorspellers voor het aantal ritten per zone, derhalve voor de hoeveelheid vrachttransport.

Tabel 5: Indicatoren vrachttransport.

Variabele	Omschrijving	Kader	Bron
Population	Bevolkingsaantal per zone in absolute cijfers.	Transport model for Belgium	Mommens et al., 2016
Land use	Ruimtelijk gebruik van de zone. Hoeveel hectare wordt er gebruikt voor welk doeleinde.	Strategies for FTG models Simple linear regression NCFRP Project 25	Brogan, 1980 Iding et al., 2002 Holguín-Veras, 2012
Total employment	Werkgelegenheidsgraad per zone. Hoeveel percent van de bevolkingsgroep met beroepsactieve leeftijd werkt er per zone.	Study FTG	Bartlett & Newton, 1982
Industry segment	Transportvraag per sector.	OLS model	Bastida & Holguín-Veras, 2009
Employment per industry segment	Tewerkstelling per sector. Hoeveel percent van de totale tewerkstelling wordt vertegenwoordigd door welke sector, ingedeeld per zone.	Origin-destination matrix Transport model for Belgium Quick response freight manual	Novak et al., 2008 Mommens et al., 2016 Guo & Fu, 2016
Number of vehicles registered	Aantal voertuigen geregistreerd in een bepaalde zone.	Vehicle based model	Kulpa, 2014
Commodity type	Stromingen per producttype (ton).	OLS model Transport model for Belgium	Bastida & Holguín-Veras, 2009 Mommens et al., 2016
Quantity freight	Hoeveelheid vracht getransporteerd in de zone (ton).	Commodity based model	Kulpa, 2014
Loading units	Laadeenheden; bijvoorbeeld bulks, containers en paletten.	Agent-based transport model	Mommens et al., 2016

6. Opstellen voorspellingsmodel

Bij het opstellen van het voorspellingsmodel voor het aantal vracht in Vlaanderen werden verschillende stappen gevolgd. Ten eerste werd de data voor de indicatoren gezocht. Het vinden van deze data was echter moeilijker dan verwacht. De online beschikbaarheid hiervan is namelijk nog zeer beperkt waardoor er minder indicatoren konden opgenomen worden in het model dan voorzien. Omwille van dit obstakel werden alternatieven gezocht. Op basis van de literatuur en eigen vergaarde inzichten, werd er gekozen gebruik te maken van volgende variabelen:

- Productie per productgroep
- Provincie
- Bodemgebruik
- Bevolkingsdichtheid

6.1. Toelichting variabelen

De goederencatalogus wordt officieel onderverdeeld in tien productgroepen (Statistieken van bevolking, 2020). Dit onderscheid werd ook toegepast bij het opstellen van dit model. Elke productgroep kent nog vele onderverdelingen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de codering van de productgroepen weer. Het is belangrijk op te merken dat tijdens het model productgroepen 7 en 8 samen werden genomen.

Tabel 6: Codering productgroepen.

Code	Productgroep
0	Landbouwproducten en levende dieren
1	Andere voedingsproducten en veevoeder
2	Vaste minerale brandstoffen
3	Aardoliën en aardolieproducten
4	Ertsen, metaalafval, geroost ijzerkies
5	IJzer, staal en non-ferrometalen (incl. halffabricaten)
6	Ruwe mineralen en -fabricaten, bouwmaterialen
7	Meststoffen
8	Chemische producten
9	Voertuigen, machines en overige goederen

De data voor de productie per productgroep per gemeente voor het jaar 2020, werd ter beschikking gesteld op basis van een voorspelling gemaakt door prof. dr. Mario Cools, en dit omwille van een tekort aan beschikbare gegevens.

De tweede variabele, namelijk de provincie, werd gekozen om meer inzicht te verkrijgen. Vlaanderen is opgedeeld in vijf provincies waarvan de mogelijke impact op het vracht nader onderzocht wordt in het model. Ook de gemeenten van elke provincie werden opgenomen in het model waardoor een voorspelling gemaakt kan worden per gemeente. De provincies kregen een code toegewezen ter vereenvoudiging van de testen:

Tabel 7: Codering Vlaamse provincies.

Code	Provincie
1	Antwerpen
2	Limburg
3	Oost-Vlaanderen
4	Vlaams-Brabant
5	West-Vlaanderen

Vervolgens werd het bodemgebruik per gemeente als indicator opgenomen. Het gebruik van oppervlakte in elke gemeente werd onderverdeeld in categorieën. Het percentage van de bodem dat gebruikt wordt voor economische activiteiten, werd in acht genomen (Jouw gemeente in cijfers, 2020).

Aanvullend op het bodemgebruik per gemeente, werd ook de bevolkingsdichtheid per gemeente nader onderzocht (Statistieken van bevolking, 2020). Deze is uitgedrukt in aantal personen per km².

6.2. Statistische testen

6.2.1. Correlatie

Per productgroep wordt de correlatie tussen de productie en twee variabelen bekeken; namelijk het percentage economische bodemgebruik en de bevolkingsdichtheid. Hoe dichter de *pearson correlation coefficient* bij 1 of -1 ligt, hoe sterker het verband tussen de variabele en de productgroep. In onderstaande resultaten kan men waarnemen dat er enkele verbanden zijn, maar er is geen sprake van een sterke correlatie. Afhankelijk van het soort product, is de correlatie groter met het bodemgebruik of met de bevolkingsdichtheid.

Bij productgroep 0 die landbouwproducten en levende dieren representeert, is er bijvoorbeeld een matig verband met het percentage bodemgebruik voor economische activiteiten. Wat de bevolkingsdichtheid betreft, is de correlatiecoëfficiënt laag waardoor men kan concluderen dat er amper een relatie bestaat met de productie van de producten.

Tabel 8: Correlatietest.

		% Bodem ge- bruik economie	Bevolkings- dichtheid
Productie0	Pearson Correlation	,409	,225
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie1	Pearson Correlation	,446	,329
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie2	Pearson Correlation	,261	,385
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie3	Pearson Correlation	,218	,354
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie4	Pearson Correlation	,272	,337
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie5	Pearson Correlation	,282	,343
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie6	Pearson Correlation	,279	,343
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie78	Pearson Correlation	,274	,348
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
Productie9	Pearson Correlation	,363	,374
	Sig. (2-tailed)	,000	,000
	N	288	288
% Bodem gebruik economie	Pearson Correlation	1	,410
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	288	288
Bevolkingsdichtheid	Pearson Correlation	,410	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	288	288

6.2.2. One-way ANOVA

Deze test onderzoekt de mogelijke impact van de provincie op de productie per productgroep. Hiervoor wordt een nulhypothese opgesteld die al dan niet wordt verworpen.

H0: De gemiddelden zijn gelijk.

H1: De gemiddelden zijn niet gelijk.

In onderstaande tabel is de significantie per productgroep interessant om nader te bekijken. Hierbij kan men zien dat voor productgroepen 2 en 9 de nulhypothese niet verworpen kan worden, daar het significantieniveau hier hoger dan 0.5 is. Met andere woorden, de productie van voedingsproducten en veevoeder, en die van voertuigen, machines en overige goederen, worden niet beïnvloed door de provincie waarin ze geproduceerd worden. De andere productgroepen verwerpen de nulhypothese daarentegen wel, en ondervinden bijgevolg wel een impact van de provincie.

Tabel 9: One-way ANOVA.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Productie0	Between Groups	41410749705,600	4	10352687426,400	7,585	,000
	Within Groups	386283896830,170	283	1364960766,184		
	Total	427694646535,770	287			
Productie1	Between Groups	100242668747,489	4	25060667186,872	2,458	,046
	Within Groups	2885806748297,595	283	10197196990,451		
	Total	2986049417045,085	287			
Productie2	Between Groups	59530563,921	4	14882640,980	2,296	,059
	Within Groups	1834334305,796	283	6481746,664		
	Total	1893864869,717	287			
Productie3	Between Groups	52861896788,355	4	13215474197,089	3,365	,010
	Within Groups	1111477955060,375	283	3927483940,143		
	Total	1164339851848,730	287			

Productie4	Between Groups	11835687,681	4	2958921,920	4,351	,002
	Within Groups	192474110,930	283	680120,533		
	Total	204309798,611	287			
Productie5	Between Groups	107994997142, 844	4	26998749285,7 11	3,939	,004
	Within Groups	1939584534744 ,608	283	6853655599,80 4		
	Total	2047579531887 ,453	287			
Productie6	Between Groups	3900232173675 ,327	4	975058043418, 832	4,034	,003
	Within Groups	6839656563868 7,836	283	241683977521, 865		
	Total	7229679781236 3,160	287			
Productie78	Between Groups	184152769124, 481	4	46038192281,1 20	3,832	,005
	Within Groups	3400363323088 ,593	283	12015418102,7 87		
	Total	3584516092213 ,074	287			
Productie9	Between Groups	216814606950, 683	4	54203651737,6 71	1,298	,271
	Within Groups	1181407800604 2,246	283	41745858678,5 95		
	Total	1203089261299 2,930	287			

6.2.3. Univariate analysis of variance

Ten eerste worden de *Tests of Between-Subjects-Effects* per productgroep geanalyseerd. Hierbij wordt onderzocht of de parameters een invloed hebben op de productie per groep aan de hand van volgende nulhypothese.

H0: De parameters zijn gelijk.

H1: De parameters zijn niet gelijk.

Elke productgroep wordt hieronder weergegeven in een overzicht, opgesteld aan de hand van de analyses. Indien het significantieniveau kleiner is dan 0.05, wordt de nulhypothese verworpen en heeft de betreffende parameter wel een effect. Wanneer het significantieniveau daarentegen groter is dan 0.05, kan de nulhypothese niet verworpen worden en beïnvloedt de parameter de productie niet. De gedetailleerde analyses per productgroep kunnen in bijlagen teruggevonden worden (Bijlage 2).

Tabel 10: *Test of Between-Subjects-Effects*.

Productgroep	Provincie Sig.	Bodemgebruik economie% Sig.	Bevolkingsdichtheid Sig.
0	0.000 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>	0.012 <i>Effect</i>
1	0.017 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
2	0.594 <i>Geen effect</i>	0.044 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
3	0.188 <i>Geen effect</i>	0.179 <i>Geen effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
4	0.013 <i>Effect</i>	0.022 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
5	0.024 <i>Effect</i>	0.015 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
6	0.021 <i>Effect</i>	0.017 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
7 +8	0.036 <i>Effect</i>	0.022 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>
9	0.401 <i>Geen effect</i>	0.000 <i>Effect</i>	0.000 <i>Effect</i>

Vervolgens berekenen we de productie per productgroep aan de hand van de tabel *Parameter Estimates*. Deze tabel kan de impact van de variabelen omzetten in concrete cijfers. Er wordt steeds gebruik gemaakt van een referentieprovincie, in deze thesis West-Vlaanderen (code 5). Hieronder een overzicht van de resultaten van de testen. De specifieke analyses per productcategorie kunnen aan het einde van de thesis teruggevonden worden (Bijlage 3).

Tabel 11: *Parameter Estimates*.

<p style="text-align: center;"><u>Parameter Estimates</u></p> <p>Dependent Variable: Productie0</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>Intercept</u></td> <td><u>21240,540</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=1,00]</u></td> <td><u>-25432,583</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=2,00]</u></td> <td><u>-21236,540</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=3,00]</u></td> <td><u>-14286,089</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=4,00]</u></td> <td><u>-31873,867</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=5,00]</u></td> <td><u>0^a</u></td> </tr> <tr> <td><u>BodemECpct</u></td> <td><u>1354,191</u></td> </tr> <tr> <td><u>POPdens</u></td> <td><u>12,365</u></td> </tr> </tbody> </table> <p><u>a. This parameter is set to zero because it is redundant.</u></p>	Parameter	B	<u>Intercept</u>	<u>21240,540</u>	<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>-25432,583</u>	<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>-21236,540</u>	<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>-14286,089</u>	<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-31873,867</u>	<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>	<u>BodemECpct</u>	<u>1354,191</u>	<u>POPdens</u>	<u>12,365</u>	<p><u>Toelichting productgroep 0</u></p> <p>Interceptiepunt = Hoeveel productie van groep 0 wordt door de referentie (provincie 5), namelijk West Vlaanderen, geproduceerd.</p> <p>Provincie 1 = Hoeveel productie van groep 0 ten opzichte van de referentie. Antwerpen produceert met andere woorden 25 432,583 ton minder van deze goederen dan West-Vlaanderen.</p> <p>BodemECpct = Wanneer 1 extra percent van de bodem economische activiteiten genereert, zal de productie voor groep 0 stijgen met 1354,191 ton.</p> <p>POPdens = Wanneer er 1 extra persoon per km² woont, zal de productie voor groep 0 stijgen met 12,365 ton.</p>																		
Parameter	B																																				
<u>Intercept</u>	<u>21240,540</u>																																				
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>-25432,583</u>																																				
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>-21236,540</u>																																				
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>-14286,089</u>																																				
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-31873,867</u>																																				
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>																																				
<u>BodemECpct</u>	<u>1354,191</u>																																				
<u>POPdens</u>	<u>12,365</u>																																				
<p style="text-align: center;"><u>Parameter Estimates</u></p> <p>Dependent Variable: Productie1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>Intercept</u></td> <td><u>13381,932</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=1,00]</u></td> <td><u>-41967,582</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=2,00]</u></td> <td><u>-30934,178</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=3,00]</u></td> <td><u>-2324,465</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=4,00]</u></td> <td><u>-41047,961</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=5,00]</u></td> <td><u>0^a</u></td> </tr> <tr> <td><u>BodemECpct</u></td> <td><u>3990,212</u></td> </tr> <tr> <td><u>POPdens</u></td> <td><u>48,018</u></td> </tr> </tbody> </table> <p><u>a. This parameter is set to zero because it is redundant.</u></p>	Parameter	B	<u>Intercept</u>	<u>13381,932</u>	<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>-41967,582</u>	<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>-30934,178</u>	<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>-2324,465</u>	<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-41047,961</u>	<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>	<u>BodemECpct</u>	<u>3990,212</u>	<u>POPdens</u>	<u>48,018</u>	<p style="text-align: center;"><u>Parameter Estimates</u></p> <p>Dependent Variable: Productie2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>Intercept</u></td> <td><u>-834,350</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=1,00]</u></td> <td><u>654,109</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=2,00]</u></td> <td><u>197,467</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=3,00]</u></td> <td><u>352,308</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=4,00]</u></td> <td><u>123,326</u></td> </tr> <tr> <td><u>[Provincie=5,00]</u></td> <td><u>0^a</u></td> </tr> <tr> <td><u>BodemECpct</u></td> <td><u>36,295</u></td> </tr> <tr> <td><u>POPdens</u></td> <td><u>1,708</u></td> </tr> </tbody> </table> <p><u>a. This parameter is set to zero because it is redundant.</u></p>	Parameter	B	<u>Intercept</u>	<u>-834,350</u>	<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>654,109</u>	<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>197,467</u>	<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>352,308</u>	<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>123,326</u>	<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>	<u>BodemECpct</u>	<u>36,295</u>	<u>POPdens</u>	<u>1,708</u>
Parameter	B																																				
<u>Intercept</u>	<u>13381,932</u>																																				
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>-41967,582</u>																																				
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>-30934,178</u>																																				
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>-2324,465</u>																																				
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-41047,961</u>																																				
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>																																				
<u>BodemECpct</u>	<u>3990,212</u>																																				
<u>POPdens</u>	<u>48,018</u>																																				
Parameter	B																																				
<u>Intercept</u>	<u>-834,350</u>																																				
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>654,109</u>																																				
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>197,467</u>																																				
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>352,308</u>																																				
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>123,326</u>																																				
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>																																				
<u>BodemECpct</u>	<u>36,295</u>																																				
<u>POPdens</u>	<u>1,708</u>																																				

Parameter Estimates

Dependent Variable: Productie3

<u>Parameter</u>	<u>B</u>
<u>Intercept</u>	<u>-21147,629</u>
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>23374,365</u>
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>5943,444</u>
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>9194,570</u>
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>1385,678</u>
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>606,782</u>
<u>POPdens</u>	<u>39,287</u>

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Parameter Estimates

Dependent Variable: Productie4

<u>Parameter</u>	<u>B</u>
<u>Intercept</u>	<u>-295,133</u>
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>343,229</u>
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>201,862</u>
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>228,547</u>
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-92,110</u>
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>13,534</u>
<u>POPdens</u>	<u>,474</u>

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Parameter Estimates

Dependent Variable: Productie5

<u>Parameter</u>	<u>B</u>
<u>Intercept</u>	<u>-28402,680</u>
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>31333,922</u>
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>18788,444</u>
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>21589,080</u>
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-9567,191</u>
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>1443,148</u>
<u>POPdens</u>	<u>48,317</u>

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Parameter Estimates

Dependent Variable: Productie6

<u>Parameter</u>	<u>B</u>
<u>Intercept</u>	<u>-173878,706</u>
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>193225,277</u>
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>114638,193</u>
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>133617,635</u>
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-51044,034</u>
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>8393,207</u>
<u>POPdens</u>	<u>287,286</u>

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Parameter Estimates		Parameter Estimates	
Dependent Variable: Productie78		Dependent Variable: Productie9	
Parameter	B	Parameter	B
<u>Intercept</u>	<u>-38158,556</u>	<u>Intercept</u>	<u>-30818,595</u>
<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>42197,447</u>	<u>[Provincie=1,00]</u>	<u>-3475,367</u>
<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>22598,517</u>	<u>[Provincie=2,00]</u>	<u>19811,950</u>
<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>27418,837</u>	<u>[Provincie=3,00]</u>	<u>7812,484</u>
<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-9802,189</u>	<u>[Provincie=4,00]</u>	<u>-48116,206</u>
<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>	<u>[Provincie=5,00]</u>	<u>0^a</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>1794,262</u>	<u>BodemECpct</u>	<u>5204,796</u>
<u>POPdens</u>	<u>65,115</u>	<u>POPdens</u>	<u>129,567</u>
a. This parameter is set to zero because it is redundant.		a. This parameter is set to zero because it is redundant.	

6.3. Model

Op basis van voorgaande analyses wordt er een model opgesteld. Deze kan aangepast worden naargelang de te onderzoeken productgroep. Met andere woorden, dit model maakt een voorspelling van het totale te transporteren vracht per productgroep, voor de gewenste Vlaamse gemeente. Het model ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned}
 & \text{Intercept} + \text{Provincie 1} + \text{Provincie 2} + \text{Provincie 3} + \text{Provincie 4} + \text{Provincie 5} \\
 & + (\text{BodemECpct} * \text{bodemgebruik economie \%}) + (\text{POPdens} * \text{bevolkingsdichtheid})
 \end{aligned}$$

Afhankelijk van de te onderzoeken productgroep, zullen de blauwe parameters veranderen. De waarden van deze parameters kan men terugvinden in de *Parameter Estimates* tabellen uit 6.2.3. Daarnaast kan er steeds per gemeente gezocht worden dankzij het bodemgebruik voor economie in percentage en de bevolkingsdichtheid. Deze gegevens worden ter beschikking gesteld in de registers van de Vlaamse overheid (Jouw gemeente in cijfers, 2020).

7. Conclusie

Uit voorbereidend onderzoek kwamen twee grote problemen naar voren die elk nader zijn beproefd in deze paper. Enerzijds ontbrak de literatuur een overzicht van de verschillende transportmodi met elk haar voor- en nadelen waarop men zich kan baseren bij het maken van de modale keuze. Anderzijds bestond er geen recent voorspellingsmodel voor het goederen-transport voor Vlaanderen. Deze thesis trachtte hier een antwoord op te bieden en de bestaande literatuur aan te vullen.

Eerst werd een onderzoek uitgevoerd naar de zes onderscheden transportmodi, namelijk wegtransport, spoorwegtransport, binnenvaart, pijpleidingen, zeevaart en luchtvaart, en werden deze beoordeeld op basis van economische en ecologische standpunten. Hoe snel de voertuigen zijn, welke goederen geschikt zijn, aan welke consumenteneisen ze voldoen en wat de impact op het klimaat is, zijn enkele onderwerpen die aan bod kwamen tijdens de evaluaties. Het onderzoek leverde uiteindelijk een mooi overzicht op van de verschillende plus- en minpunten per vervoermiddel.

Vervolgens werd de klassieke modellering van vrachttransport beproefd. De vier stappen van de klassieke methode, namelijk productie en attractie, distributie, modale keuze en toewijzing, werden elk verder toegelicht aan de hand van modellen. Deze werden nadien ook steeds in een overzicht gegoten op basis van voor- en nadelen. De modelleringstechnieken van tripgeneratiemodellen, behorend tot de eerste stap, kregen een korte literatuurstudie met aandacht voor de verschillende voorspellers van vrachttransport. Enkele voorbeelden zijn het bodemgebruik, de populatie en het aantal geregistreerde vervoersmiddelen.

Tot slot werd er gezocht naar data voor de indicatoren per Vlaamse gemeente. Dit proces was moeizamer dan verwacht waardoor niet alle gewenste indicatoren in het model werden opgenomen. De variabelen die werden meegenomen zijn de productie per productgroep, de provincies, het bodemgebruik in termen van economische activiteiten per gemeente en de bevolkingsdichtheid per zone. Op basis van deze variabelen werden enkele statistische testen uitgevoerd zoals de correlatietest, de one-way ANOVA en een variantieanalyse.

De voorgaande analyses droegen elk toe tot het opstellen van onderstaand voorspellingsmodel. Deze voorspelt de toekomstige vracht per productgroep per Vlaamse gemeente. Op deze manier kan elke onderneming zich beter voorbereiden op de markt.

$$\begin{aligned} & \text{Intercept} + \text{Provincie 1} + \text{Provincie 2} + \text{Provincie 3} + \text{Provincie 4} + \text{Provincie 5} \\ & + (\text{BodemECpct} * \text{bodemgebruik economie \%}) + (\text{POPdens} * \text{bevolkingsdichtheid}) \end{aligned}$$

8. Beperkingen en aanbevelingen voor verder onderzoek

Bij het schrijven van deze masterproef werd ik geconfronteerd met enkele beperkingen die resulteren in aanbevelingen voor verder onderzoek.

Ten eerste werd slechts een beknopte beoordeling opgemaakt per transportmodus, daar een grondige evaluatie extra onderzoek vereist. Er zijn vele kenmerken, zoals bijvoorbeeld de ecologische invalshoek, die meer aandacht verdienen, maar waar geen ruimte voor was in dit onderzoek. Een volledige studie waarin de verschillende transportmodi grondig geanalyseerd worden en waarbij een zorgvuldige vergelijking wordt opgesteld, beveel ik ten sterkste aan. Daarnaast kan er een model opgesteld worden per transportmodus waardoor de sector beroep kan doen op meer specifieke voorspellingen.

Vervolgens werd dit onderzoek sterk beperkt door de beschikbare data. Aan de hand van literatuuronderzoek werden verschillende belangrijke indicatoren gevonden, maar deze konden helaas niet allen opgenomen worden in het model. De reden hiervoor is dat er gewoonweg onvoldoende data beschikbaar was. Een transparanter systeem in België waarbij alle gegevens voor iedereen eenvoudig online te vinden zijn, is een must in onze huidige, technologisch getekende, maatschappij. Aanvullend op deze beperking, zouden recentere gegevens ook steeds voorhanden moeten zijn. Vele bronnen waren reeds drie jaar oud, waardoor de voorspelling vanzelfsprekend minder accuraat is.

Als gevolg van de ontbrekende data, werd er voor dit model geleund op een ander model. Dit laatstgenoemde model voorspelt de productie van goederen per gemeente, ingedeeld per productcategorie voor het jaar 2020, en werd ontwikkeld door prof. dr. Mario Cools. Met andere woorden, er werd een voorspelling gemaakt op basis van een reeds berekende voorspelling. Deze laatste voorspelling toont daarenboven enkele gebreken daar er voor 14 gemeenten onvoldoende informatie beschikbaar was om de productie te voorspellen. Een overzicht van deze gemeenten kan teruggevonden worden in bijlage 4. Voor deze gemeenten zal ook dit model geen voorspelling kunnen uitwerken. Indien alle benodigde data ter beschikking is, kan het model eenvoudig vervolledigd worden.

Deze thesis werd deels geschreven tijdens de Corona epidemie. De gevolgen van deze pandemie op de sector zijn echter nog niet duidelijk. De voorspelling die wordt gemaakt voor het toekomstig vrachtverkeer houdt hier bijgevolg nog geen rekening mee. De Belgische economie incasseert momenteel zeer zware klappen die ongetwijfeld grote gevolgen zullen hebben. Een geheel nieuw onderzoek zou moeten uitwijzen wat de precieze impact hiervan is op de sector.

Bibliografie

- 'Air safety statistics in the EU - Statistics Explained'. Geraadpleegd 8 juli 2020.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Air_safety_statistics_in_the_EU#General_aviation.
- Akten, Necmettin. 'Shipping Accidents: A Serious Threat for Marine Environment', z.d., 36.
- Alho, André, Yin Jin Lee, Edgar Blanco, Christopher Zegras, en João de. 'Freight Trip Generation in Urban Contexts: A Comparison between Lisbon and Singapore.', 2015, 18.
- Anderson, James E. 'The Gravity Model'. *Annual Review of Economics* 3, nr. 1 (2011): 133-60.
<https://doi.org/10.1146/annurev-economics-111809-125114>.
- Bartlett, R. S., en W. H. Newton. 'GOODS VEHICLE TRIP GENERATION AND ATTRACTION BY INDUSTRIAL AND COMMERCIAL PREMISES'. Publication of: Transport and Road Research Laboratory, 1982. <https://trid.trb.org/view/187349>.
- Bastida, Carlos, en José Holguín-Veras. 'Freight Generation Models: Comparative Analysis of Regression Models and Multiple Classification Analysis'. *Transportation Research Record* 2097, nr. 1 (1 januari 2009): 51-61. <https://doi.org/10.3141/2097-07>.
- Behrends, Sönke. "The Significance of the Urban Context for the Sustainability Performance of Intermodal Road-Rail Transport". *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54 (oktober 2012): 375-86. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.757>.
- Biesemans N. *Innovaties in intermodaal transport via de binnenvaart*. Universiteit Hasselt (2009)
- Boris Dynkin. "Comments on the Regional Railroad Network and Power Grid Interconnection". Far Eastern State Transport University, (2002).
- Borken-Kleefeld, Jens, Terje Berntsen, en Jan Fuglestvedt. "Specific Climate Impact of Passenger and Freight Transport". *Environmental Science & Technology* 44, nr. 15 (1 augustus 2010): 5700-5706. <https://doi.org/10.1021/es9039693>.
- Brogan, James D. 'Improving Truck Trip-Generation Techniques Through Trip-End Stratification'. *Transportation Research Record*, z.d., 6.
- Caschili, S., en F. R. Medda. 'A Review of the Maritime Container Shipping Industry as a Complex Adaptive System'. *Interdisciplinary Description of Complex Systems; Zagreb* 10, nr. 1 (2012): 1-15. <http://dx.doi.org/10.7906/indecs.10.1.1>.
- Connolly, David P., Grzegorz P. Marecki, Georges Kouroussis, Ioannis Thalassinakis, en Peter K. Woodward. 'The Growth of Railway Ground Vibration Problems — A Review'. *Science of The Total Environment* 568 (oktober 2016): 1276-82.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.101>.

- De Jong, Gerard, Hugh Gunn, en Warren Walker. 'National and International Freight Transport Models: An Overview and Ideas for Future Development'. *Transport Reviews* 24, nr. 1 (januari 2004): 103–24. <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494>.
- De Jong, Gerard, Hugh Gunn, en Warren Walker. "National and International Freight Transport Models: An Overview and Ideas for Future Development". *Transport Reviews* 24, nr. 1 (januari 2004): 103–24. <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494>.
- Eisenkopf, Alexander, Christian Kirchner, Georg Jarzembowski*, Johannes Ludewig, Werner Rothengatter, en Gerard McCullough**. 'The Liberalisation of Rail Transport in the EU'. *Intereconomics* 41, nr. 6 (november 2006): 292–313. <https://doi.org/10.1007/s10272-006-0200-9>.
- European Court of Auditors, 2018. Special Report Air Pollution: Our Health Still Insufficiently Protected. No. 23. TFEU pursuant to Article 287(4), second subparagraph.
- Fang, Weipeng, Jiansong Wu, Yiping Bai, Laobing Zhang, en Genserik Reniers. "Quantitative Risk Assessment of a Natural Gas Pipeline in an Underground Utility Tunnel". *Process Safety Progress* 38, nr. 4 (december 2019). <https://doi.org/10.1002/prs.12051>.
- 'Final Energy Consumption in Europe by Mode of Transport — European Environment Agency'. Indicator Assessment. Geraadpleegd 3 juli 2020. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-10>.
- Fuchs-Seliger, Susanne. 'Indirect Expenditure Functions and Shephard's Lemma', 474–79, 2003. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55537-4_77.
- Gerard De Jong, Sjoerd Bakker, en Marits Pieters. "Hoofdonderzoek naar reistijdwaardering in het vervoer van goederen over de weg". *Rand Europe*, (april 2004).
- Geuens S. "Onderzoek naar de mogelijkheden van de overschakeling van het wegtransport naar de binnenvaart". Universiteit Hasselt (2007)
- 'Glossary:Short sea shipping (SSS) - Statistics Explained'. Geraadpleegd 3 juli 2020. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Short_sea_shipping.
- Guo, Zhida, en Jingyuan Fu. Prediction Method of Railway Freight Volume Based on Improved Neural Network. Atlantis Press, 2016. <https://doi.org/10.2991/icence-16.2016.174>.
- Hegedus I., Bratucu G., Stefan M. "Internal Factors of Rail Freight Transportation". *Bulletin of the Transilvania University of Brasov* (2018)
- Holguín-Veras, José, Iván Sánchez-Díaz, Catherine T. Lawson, Miguel Jaller, Shama Campbell, Herbert S. Levinson, en Hyeon-Shic Shin. 'Transferability of Freight Trip Generation Models': *Transportation Research Record*, 1 januari 2013. <https://doi.org/10.3141/2379-01>.

- Holguin-Veras, Jose, Miguel Jaller, Ivan Sanchez-Diaz, Jeffrey Wojtowicz, Shama Campbell, Herbert Levinson, Catherine Lawson, Erica Levine Powers, en Lorant Tavasszy. 'Freight Trip Generation and Land Use'. NCHRP-NCFRP Report, nr. NCHRP 739-NCFRP 19 (2012). <https://trid.trb.org/view/1237016>.
- Hopkins, Phil. "OIL AND GAS PIPELINES: Yesterday and Today". Oil and Gas Pipelines, z.d., 9. (2007)
- Iding, Mirjam H E, Wilhelm J Meester, en Lóri A Tavasszy. 'Freight Trip Generation by Firms', z.d., 15.
- Janic, Milan. "Modelling the Full Costs of an Intermodal and Road Freight Transport Network". Transportation Research Part D: Transport and Environment 12, nr. 1 (januari 2007): 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2006.10.004>.
- Jong, Gerard de, Eric Kroes, Ronald Plasmeijer, en Peter Sanders. "THE VALUE OF RELIABILITY", z.d., 18.
- Jong, Gerard de, Sjoerd Bakker, en Marits Pieters. 'Hoofdonderzoek Naar de Reistijdwaardering in Het Vervoer van Goederen over de Weg: (Main Survey Into the Value of Time in Freight Transport by Road)'. Product Page. RAND Corporation, 2004. https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR110.html.
- 'Jouw gemeente in cijfers'. Geraadpleegd 29 juli 2020. /nl/monitor--jouw-gemeente-in-cijfers.
- Jungbluth N, Tietje O, Scholz RW (2000): Food Purchases: Impacts from the consumers' point of view investigated with a modular LCA. Int J LCA 5 (3) 134-142
- Ke, Bwo-Ren, Chun-Liang Lin, en Chi-Wen Lai. "Optimization of Train-Speed Trajectory and Control for Mass Rapid Transit Systems". Control Engineering Practice 19, nr. 7 (1 juli 2011): 675-87. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2011.03.003>.
- Kouroussis, G., L. Van Parys, C. Conti, en O. Verlinden. 'Using Three-Dimensional Finite Element Analysis in Time Domain to Model Railway-Induced Ground Vibrations'. Advances in Engineering Software 70 (april 2014): 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2014.01.005>.
- Kreutzberger, Ekki D. 'Distance and Time in Intermodal Goods Transport Networks in Europe: A Generic Approach'. Transportation Research Part A: Policy and Practice 42, nr. 7 (augustus 2008): 973-93. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.012>.
- Kreutzberger, Ekki D. "Distance and Time in Intermodal Goods Transport Networks in Europe: A Generic Approach". Transportation Research Part A: Policy and Practice 42, nr. 7 (augustus 2008): 973-93. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.012>.
- Krols K., Rome F., en Van Breedam A. "Jaarverslag 2006". Vlaams instituut voor de logistiek vzw (2006)

- Kulpa, Tomasz. 'Freight Truck Trip Generation Modelling at Regional Level'. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Transportation: Can we do more with less resources? – 16th Meeting of the Euro Working Group on Transportation – Porto 2013*, 111 (5 februari 2014): 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.052>.
- Li, Chung-Lun, en George L. Vairaktarakis. 'Loading and Unloading Operations in Container Terminals'. *IIE Transactions* 36, nr. 4 (april 2004): 287–97. <https://doi.org/10.1080/07408170490247340>.
- Litman, Todd. 'Evaluating Rail Transit Benefits: A Comment'. *Transport Policy* 14, nr. 1 (januari 2007): 94–97. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.09.003>.
- Liu H. "Pipeline engineering". Lewis Publishers (2003)
- M., Harald, en Erik Fridell. 'When Is Short Sea Shipping Environmentally Competitive?' In *Environmental Health - Emerging Issues and Practice*, onder redactie van Jacques Oosthuizen. InTech, 2012. <https://doi.org/10.5772/38303>.
- 'Maritime transport statistics - short sea shipping of goods - Statistics Explained'. Geraadpleegd 3 juli 2020. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Maritime_transport_statistics_-_short_sea_shipping_of_goods#Total_short_sea_shipping.
- Mommens, Koen, Nicolas Brusselaers, Tom van Lier, en Cathy Macharis. "A Dynamic Approach to Measure the Impact of Freight Transport on Air Quality in Cities". *Journal of Cleaner Production* 240 (december 2019): 118192. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118192>.
- Mommens, Koen, Tom van Lier, en Cathy Macharis. 'Loading Unit in Freight Transport Modelling'. *Procedia Computer Science, The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) / The 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2016) / Affiliated Workshops*, 83 (1 januari 2016): 921–27. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.186>.
- MVO Vlaanderen. (2019, 14 oktober). Transport, logistiek. Geraadpleegd van <https://www.mvovlaanderen.be/sector/transport-logistiek>
- Novak, David C., Christopher Hodgdon, Feng Guo, en Lisa Aultman-Hall. 'Nationwide Freight Generation Models: A Spatial Regression Approach'. *Networks and Spatial Economics* 11, nr. 1 (1 maart 2011): 23–41. <https://doi.org/10.1007/s11067-008-9079-2>.
- Ozalp, Inan, en Bahar Suvaci. 'A NEW APPROACH IN LOGISTICS MANAGEMENT: JUST IN TIME-LOGISTICS (JIT-L)' 2, nr. 1 (2010): 9.
- Paixão, A.C, en P.B Marlow. 'Strengths and Weaknesses of Short Sea Shipping'. *Marine Policy* 26, nr. 3 (mei 2002): 167–78. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(01\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(01)00047-1).

- Piecyk, Maja I., en Alan C. McKinnon. "Forecasting the Carbon Footprint of Road Freight Transport in 2020". *International Journal of Production Economics, Integrating the Global Supply Chain*, 128, nr. 1 (1 november 2010): 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.08.027>.
- 'Perons_killed_in_aviation_accidents,_by_country_of_registration,_area_of_occurrence_and_aviation_category,_2014-2018_(number).png (940x778)'. Geraadpleegd 8 juli 2020. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/images/2/2f/Persons_killed_in_aviation_accidents%2C_by_country_of_registration%2C_area_of_occurrence_and_aviation_category%2C_2014-2018_%28number%29.png.
- Pootakham, Thanyakarn, en Amit Kumar. 'A Comparison of Pipeline versus Truck Transport of Bio-Oil'. *Bioresource Technology* 101, nr. 1 (1 januari 2010): 414–21. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.077>.
- Rahman, Nor Aida Abdul, Mohammad Fakhruhnizam Mohammad, Suzari Abdul Rahim, Rohail Hassan, Fauzi Ahmad, Suhaila Abdul Kadir, en Universiti Tun Hussein Onn. 'SHIPPERS' PERCEPTIONS OF AVIATION LOGISTICS SERVICE QUALITY (LSQ) O', 2017, 7.
- "Rail Freight as a Means of Reducing Roadway Congestion: Feasibility Considerations for Transportation Planning - Joseph Bryan, Glen Weisbrod, Carl D. Martland, 2007". Geraadpleegd 11 december 2019. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2008-10>.
- Ramírez-Camacho, J. Giovanni, Federica Carbone, Elsa Pastor, Roberto Bubbico, en Joaquim Casal. 'Assessing the Consequences of Pipeline Accidents to Support Land-Use Planning'. *Safety Science* 97 (augustus 2017): 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.01.021>.
- Reis, Vasco, J. Fabian Meier, Giuseppe Pace, en Roberto Palacin. "Rail and Multi-Modal Transport". *Research in Transportation Economics* 41, nr. 1 (mei 2013): 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.10.005>.
- Rodríguez, Julio Louro, en José Ángel Fraguela Formoso. 'Work-Related Accidents in the Maritime Transport Sector'. *Journal of Navigation* 60, nr. 2 (mei 2007): 303–13. <https://doi.org/10.1017/S0373463307004201>.
- Rodríguez, Julio Louro, en José Ángel Fraguela Formoso. 'Work-Related Accidents in the Maritime Transport Sector'. *Journal of Navigation* 60, nr. 2 (mei 2007): 303–13. <https://doi.org/10.1017/S0373463307004201>.
- Rondinelli, Dennis, en Michael Berry. "Multimodal Transportation, Logistics, and the Environment: Managing Interactions in a Global Economy". *European Management Journal* 18, nr. 4 (1 augustus 2000): 398–410. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(00\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(00)00029-3).
- Sales, Michael. *Aviation Logistics: The Dynamic Partnership of Air Freight and Supply Chain*. Kogan Page Publishers, 2016.

- Schulte-Werning, B., M. Beier, K.G. Degen, en D. Stiebel. 'Research on Noise and Vibration Reduction at DB to Improve the Environmental Friendliness of Railway Traffic'. *Journal of Sound and Vibration* 293, nr. 3-5 (juni 2006): 1058-69. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.08.065>.
- Schweighofer, Juha. 'The Impact of Extreme Weather and Climate Change on Inland Waterway Transport'. *Natural Hazards* 72, nr. 1 (mei 2014): 23-40. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0541-6>.
- Sharma, Anshul, en Elizabeth G Jones. 'Development of Statewide Freight Trip Forecasting Model for Nebraska', 2003, 19.
- Shin, Seolin, Gunhak Lee, Usama Ahmed, Yongkyu Lee, Jonggeol Na, en Chonghun Han. 'Risk-Based Underground Pipeline Safety Management Considering Corrosion Effect'. *Journal of Hazardous Materials* 342 (januari 2018): 279-89. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.08.029>.
- Sivakumar, Aruna. "MODELLING TRANSPORT: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies", 2007.
- Smith, R. A. 'Railways: How They May Contribute to a Sustainable Future'. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Journal of Rail and Rapid Transit, Part F*; London 217, nr. 4 (2003): 243-48.
- Sofico. "Kilometerheffing voor vrachtwagens". Geraadpleegd 6 april 2020. <https://sofico.org/nl/kilometerheffing-voor-vrachtwagens/>.
- Spielmann, Michael, en Roland W Scholz. "Life Cycle Inventories of Transport Services", 2005, 10.
- 'Statistieken van bevolking - Rijksregister - IBZ Instellingen en Bevolking'. Geraadpleegd 29 juli 2020. <https://www.ibz.rn.fgov.be/nl/rijksregister/statistieken-van-bevolking/>.
- Svindland, Morten, en Harald M. Hjelle. 'The Comparative CO2 Efficiency of Short Sea Container Transport'. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 77 (december 2019): 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.025>.
- Thambiran, Tirusha, en Roseanne D. Diab. "Air Pollution and Climate Change Co-Benefit Opportunities in the Road Transportation Sector in Durban, South Africa". *Atmospheric Environment* 45, nr. 16 (mei 2011): 2683-89. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.059>.
- Tripepi, G., K. J. Jager, F. W. Dekker, en C. Zoccali. 'Linear and Logistic Regression Analysis'. *Kidney International* 73, nr. 7 (1 april 2008): 806-10. <https://doi.org/10.1038/sj.ki.5002787>.
- Trombetta Zannin, Paulo Henrique, en Fernando Bunn. 'Noise Annoyance through Railway Traffic - a Case Study'. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12, nr. 1 (december 2014): 14. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-14>.

Union, Publications Office of the European. 'The Evolving Role of EU Seaports in Global Maritime Logistics: Capacities, Challenges and Strategies.' Website. Publications Office of the European Union, 31 mei 2010. <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3978af9c-6d56-4337-a43e-dc3708fe2ee1>.

Vanderhenst K. Samenwerking tussen bedrijven in intermodaal transport. Universiteit Hasselt (2008)

www.vlaanderen.be. "Analyse voor- en nameting kilometerheffing vrachtwagens". Geraadpleegd 6 april 2020. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/analyse-voor-en-nameting-kilometerheffing-vrachtwagens>.

Your Article Library. "Advantages and Disadvantages of Road Transport", 18 september 2014. <http://www.yourarticlelibrary.com/geography/transportation/advantages-and-disadvantages-of-road-transport/42135>.

Zhang, Qingyu, Mark A Vonderembse, en Jeen-Su Lim. "Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction". *Journal of Operations Management* 21, nr. 2 (1 maart 2003): 173–91. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00067-0).

Bijlagen

Bijlage 1

Modal Split of Freight Transport on Land by Country

2017

tonne-km in %

	Road	Rail	Inland Waterways	Pipelines	
EU-28	73,3	16,5	5,8	4,5	EU-28
BE	72,4	10,1	15,3	2,2	BE
BG	54,8	17,9	24,0	3,2	BG
CZ	70,5	25,9	0,0	3,5	CZ
DK	80,6	10,5		8,9	DK
DE	71,4	17,3	8,6	2,8	DE
EE	55,6	44,4	-	-	EE
IE	99,1	0,9	-	-	IE
EL	98,1	1,8	-	0,1	EL
ES	90,7	4,9	-	4,4	ES
FR	84,2	10,1	2,3	3,4	FR
HR	64,7	17,7	5,6	12,1	HR
IT	81,3	12,8	0,0	5,9	IT
CY	100,0	-	-	-	CY
LV	24,3	69,2	-	6,5	LV
LT	32,8	65,6	0,0	1,7	LT
LU	88,3	5,9	5,8	-	LU
HU	59,3	30,7	4,6	5,5	HU
MT	100,0	-	-	-	MT
NL	46,8	5,6	42,3	5,3	NL
AT	58,4	28,4	2,6	10,7	AT
PL	69,6	21,9	0,0	8,4	PL
PT	84,1	13,8	-	2,1	PT
RO	41,5	29,5	26,8	2,3	RO
SI	64,5	35,5	-	-	SI
SK	53,5	27,7	3,1	15,7	SK
FI	72,4	27,3	0,3	-	FI
SE	69,8	30,2	0,0	-	SE
UK	85,6	9,1	0,1	5,3	UK
AL					AL
ME					ME
MK					MK
RS					RS
TR					TR
IS					IS
NO	76,0	13,6		10,5	NO
CH	64,9	34,6	0,1	0,3	CH

Bijlage 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: **Productie0**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<u>Corrected Model</u>	<u>106490181285,</u> 902 ^a	6	<u>17748363547,6</u> 50	<u>15,527</u>	<u>,000</u>
<u>Intercept</u>	<u>525200200,870</u>	1	<u>525200200,870</u>	<u>,459</u>	<u>,498</u>
<u>Provincie</u>	<u>33367436715,4</u> 55	4	<u>8341859178,86</u> 4	<u>7,298</u>	<u>,000</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>31757806419,0</u> 38	1	<u>31757806419,0</u> 38	<u>27,783</u>	<u>,000</u>
<u>POPdens</u>	<u>7227298471,78</u> 6	1	<u>7227298471,78</u> 6	<u>6,323</u>	<u>,012</u>
<u>Error</u>	<u>321204465249,</u> 868	281	<u>1143076388,79</u> 0		
<u>Total</u>	<u>662182460324,</u> 818	288			
<u>Corrected Total</u>	<u>427694646535,</u> 770	287			

a. R Squared = ,249 (Adjusted R Squared = ,233)

Dependent Variable: **Productie1**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<u>Corrected Model</u>	<u>768675625421,</u> 481 ^a	6	<u>128112604236,</u> 913	<u>16,235</u>	<u>,000</u>
<u>Intercept</u>	<u>7155775714,17</u> 3	1	<u>7155775714,17</u> 3	<u>,907</u>	<u>,342</u>
<u>Provincie</u>	<u>97304675001,9</u> 50	4	<u>24326168750,4</u> 87	<u>3,083</u>	<u>,017</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>275729104635,</u> 067	1	<u>275729104635,</u> 067	<u>34,942</u>	<u>,000</u>
<u>POPdens</u>	<u>108998240895,</u> 219	1	<u>108998240895,</u> 219	<u>13,813</u>	<u>,000</u>
<u>Error</u>	<u>2217373791623</u> ,606	281	<u>7891009934,60</u> 4		
<u>Total</u>	<u>4507840059148</u> ,674	288			

<u>Corrected Total</u>	<u>2986049417045</u>	<u>287</u>			
	<u>.086</u>				

a. R Squared = ,257 (Adjusted R Squared = ,242)

Dependent Variable: **Productie2**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<u>Corrected Model</u>	<u>320822000,536^a</u>	<u>6</u>	<u>53470333,423</u>	<u>9,552</u>	<u>,000</u>
<u>Intercept</u>	<u>23760239,507</u>	<u>1</u>	<u>23760239,507</u>	<u>4,244</u>	<u>,040</u>
<u>Provincie</u>	<u>15619334,639</u>	<u>4</u>	<u>3904833,660</u>	<u>,698</u>	<u>,594</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>22812585,641</u>	<u>1</u>	<u>22812585,641</u>	<u>4,075</u>	<u>,044</u>
<u>POPdens</u>	<u>137899071,749</u>	<u>1</u>	<u>137899071,749</u>	<u>24,634</u>	<u>,000</u>
<u>Error</u>	<u>1573042869,180</u>	<u>281</u>	<u>5598017,328</u>		
<u>Total</u>	<u>2129404641,434</u>	<u>288</u>			
<u>Corrected Total</u>	<u>1893864869,717</u>	<u>287</u>			

a. R Squared = ,169 (Adjusted R Squared = ,152)

Dependent Variable: **Productie3**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<u>Corrected Model</u>	<u>175134986159,340^a</u>	<u>6</u>	<u>29189164359,890</u>	<u>8,292</u>	<u>,000</u>
<u>Intercept</u>	<u>12729389108,401</u>	<u>1</u>	<u>12729389108,401</u>	<u>3,616</u>	<u>,058</u>
<u>Provincie</u>	<u>21805947677,124</u>	<u>4</u>	<u>5451486919,281</u>	<u>1,549</u>	<u>,188</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>6376112968,056</u>	<u>1</u>	<u>6376112968,056</u>	<u>1,811</u>	<u>,179</u>
<u>POPdens</u>	<u>72963637774,358</u>	<u>1</u>	<u>72963637774,358</u>	<u>20,727</u>	<u>,000</u>
<u>Error</u>	<u>989204865689,389</u>	<u>281</u>	<u>3520302013,129</u>		
<u>Total</u>	<u>1254558463946,304</u>	<u>288</u>			
<u>Corrected Total</u>	<u>1164339851848,730</u>	<u>287</u>			

a. R Squared = ,150 (Adjusted R Squared = ,132)

Dependent Variable: **Productie4**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35378499,976 ^a	6	5896416,663	9,808	,000
Intercept	1851897,824	1	1851897,824	3,080	,080
Provincie	7764138,617	4	1941034,654	3,229	,013
BodemECpct	3172051,891	1	3172051,891	5,276	,022
POPdens	10640260,214	1	10640260,214	17,699	,000
Error	168931298,636	281	601178,999		
Total	229263477,174	288			
Corrected Total	204309798,611	287			

a. R Squared = ,173 (Adjusted R Squared = ,156)

Dependent Variable: **Productie5**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	359229788815, 509 ^a	6	59871631469,2 51	9,965	,000
Intercept	18732029586,0 21	1	18732029586,0 21	3,118	,079
Provincie	68607780018,1 54	4	17151945004,5 39	2,855	,024
BodemECpct	36067209292,5 30	1	36067209292,5 30	6,003	,015
POPdens	110362421105, 237	1	110362421105, 237	18,368	,000
Error	1688349743071, ,946	281	6008362074,98 9		
Total	2325552729666, ,733	288			
Corrected Total	2047579531887, ,455	287			

a. R Squared = ,175 (Adjusted R Squared = ,158)

Dependent Variable: **Productie6**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1266007930445 8,414 ^a	6	2110013217409 .736	9,942	.000
Intercept	673626028612, 275	1	673626028612, 275	3,174	.076
Provincie	2483156258654 .074	4	620789064663, 519	2,925	.021
BodemECpct	1219962498957 .068	1	1219962498957 .068	5,748	.017
POPdens	3901619167566 .397	1	3901619167566 .397	18,384	.000
Error	5963671850790 4,730	281	212230314974, 750		
Total	8177415319687 3,300	288			
Corrected Total	7229679781236 3,140	287			

a. R Squared = ,175 (Adjusted R Squared = ,157)

Dependent Variable: **Productie78**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	618575764884, 827 ^a	6	103095960814, 138	9,768	.000
Intercept	34492638272,5 87	1	34492638272,5 87	3,268	.072
Provincie	110127771707, 005	4	27531942926,7 51	2,608	.036
BodemECpct	55752236009,1 04	1	55752236009,1 04	5,282	.022
POPdens	200436338027, 379	1	200436338027, 379	18,990	.000
Error	2965940327328 ,252	281	10554947784,0 86		
Total	4040585716203 ,587	288			
Corrected Total	3584516092213 ,078	287			

a. R Squared = ,173 (Adjusted R Squared = ,155)

Dependent Variable: **Productie9**

<u>Source</u>	<u>Type III Sum of Squares</u>	<u>df</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F</u>	<u>Sig.</u>
<u>Corrected Model</u>	<u>2455938204122</u> <u>.981^a</u>	<u>6</u>	<u>409323034020,</u> <u>497</u>	<u>12,013</u>	<u>.000</u>
<u>Intercept</u>	<u>93102231073,0</u> <u>70</u>	<u>1</u>	<u>93102231073,0</u> <u>70</u>	<u>2,732</u>	<u>.099</u>
<u>Provincie</u>	<u>137983706507,</u> <u>934</u>	<u>4</u>	<u>34495926626,9</u> <u>84</u>	<u>1,012</u>	<u>.401</u>
<u>BodemECpct</u>	<u>469135257863,</u> <u>129</u>	<u>1</u>	<u>469135257863,</u> <u>129</u>	<u>13,768</u>	<u>.000</u>
<u>POPdens</u>	<u>793607047774,</u> <u>292</u>	<u>1</u>	<u>793607047774,</u> <u>292</u>	<u>23,290</u>	<u>.000</u>
<u>Error</u>	<u>9574954408869</u> <u>.951</u>	<u>281</u>	<u>34074570850,0</u> <u>71</u>		
<u>Total</u>	<u>1538315024456</u> <u>9,172</u>	<u>288</u>			
<u>Corrected Total</u>	<u>1203089261299</u> <u>2,932</u>	<u>287</u>			

a. R Squared = ,204 (Adjusted R Squared = ,187)

Bijlage 3

Parameter Estimates

Dependent Variable: **Productie0**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	21240,540	5709,828	3,720	,000	10001,073	32480,007
[Provincie=1,00]	-25432,583	6170,851	-4,121	,000	-37579,546	-13285,619
[Provincie=2,00]	-21236,540	6800,975	-3,123	,002	-34623,865	-7849,214
[Provincie=3,00]	-14286,089	6313,676	-2,263	,024	-26714,194	-1857,984
[Provincie=4,00]	-31873,867	6431,367	-4,956	,000	-44533,641	-19214,093
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	1354,191	256,917	5,271	,000	848,465	1859,917
POPdens	12,365	4,917	2,514	,012	2,685	22,044

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie1**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	13381,932	15002,089	,892	,373	-16148,811	42912,675
[Provincie=1,00]	-41967,582	16213,387	-2,588	,010	-73882,696	-10052,469
[Provincie=2,00]	-30934,178	17868,984	-1,731	,085	-66108,238	4239,882
[Provincie=3,00]	-2324,465	16588,646	-,140	,889	-34978,254	30329,325
[Provincie=4,00]	-41047,961	16897,870	-2,429	,016	-74310,439	-7785,482
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	3990,212	675,027	5,911	,000	2661,461	5318,963
POPdens	48,018	12,920	3,717	,000	22,586	73,450

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie2**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-834,350	399,579	-2,088	,038	-1620,898	-47,802
[Provincie=1,00]	654,109	431,842	1,515	,131	-195,947	1504,164
[Provincie=2,00]	197,467	475,938	,415	,679	-739,390	1134,324
[Provincie=3,00]	352,308	441,837	,797	,426	-517,422	1222,038
[Provincie=4,00]	123,326	450,073	,274	,784	-762,616	1009,269
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	36,295	17,979	2,019	,044	,903	71,686
POPdens	1,708	,344	4,963	,000	1,031	2,385

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie3**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-21147,629	10020,177	-2,111	,036	-40871,767	-1423,490
[Provincie=1,00]	23374,365	10829,226	2,158	,032	2057,661	44691,069
[Provincie=2,00]	5943,444	11935,030	,498	,619	-17549,972	29436,860
[Provincie=3,00]	9194,570	11079,869	,830	,407	-12615,510	31004,650
[Provincie=4,00]	1385,678	11286,405	,123	,902	-20830,957	23602,313
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	606,782	450,863	1,346	,179	-280,716	1494,280
POPdens	39,287	8,629	4,553	,000	22,300	56,273

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie4**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-295,133	130,945	-2,254	,025	-552,890	-37,376
[Provincie=1,00]	343,229	141,517	2,425	,016	64,661	621,798
[Provincie=2,00]	201,862	155,968	1,294	,197	-105,152	508,876
[Provincie=3,00]	228,547	144,793	1,578	,116	-56,469	513,563
[Provincie=4,00]	-92,110	147,492	-,625	,533	-382,439	198,219
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	13,534	5,892	2,297	,022	1,936	25,132
POPdens	,474	,113	4,207	,000	,252	,696

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie5**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-28402,680	13090,718	-2,170	,031	-54171,001	-2634,358
[Provincie=1,00]	31333,922	14147,689	2,215	,028	3485,016	59182,829
[Provincie=2,00]	18788,444	15592,351	1,205	,229	-11904,196	49481,085
[Provincie=3,00]	21589,080	14475,138	1,491	,137	-6904,390	50082,550
[Provincie=4,00]	-9567,191	14744,964	-,649	,517	-38591,799	19457,416
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	1443,148	589,024	2,450	,015	283,689	2602,607
POPdens	48,317	11,274	4,286	,000	26,125	70,509

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie6**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-173878,706	77801,710	-2,235	,026	-327026,867	-20730,546
[Provincie=1,00]	193225,277	84083,574	2,298	,022	27711,632	358738,923
[Provincie=2,00]	114638,193	92669,597	1,237	,217	-67776,542	297052,928
[Provincie=3,00]	133617,635	86029,690	1,553	,122	-35726,829	302962,099
[Provincie=4,00]	-51044,034	87633,343	-,582	,561	-223545,194	121457,126
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	8393,207	3500,728	2,398	,017	1502,226	15284,188
POPdens	287,286	67,003	4,288	,000	155,394	419,178

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie78**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-38158,556	17350,559	-2,199	,029	-72312,127	-4004,985
[Provincie=1,00]	42197,447	18751,478	2,250	,025	5286,249	79108,645
[Provincie=2,00]	22598,517	20666,247	1,093	,275	-18081,793	63278,826
[Provincie=3,00]	27418,837	19185,481	1,429	,154	-10346,671	65184,346
[Provincie=4,00]	-9802,189	19543,112	-,502	,616	-48271,672	28667,295
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	1794,262	780,697	2,298	,022	257,504	3331,020
POPdens	65,115	14,942	4,358	,000	35,702	94,528

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Dependent Variable: **Productie9**

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Intercept	-30818,595	31174,581	-,989	,324	-92183,954	30546,763
[Provincie=1,00]	-3475,367	33691,679	-,103	,918	-69795,485	62844,752
[Provincie=2,00]	19811,950	37132,036	,534	,594	-53280,312	92904,213
[Provincie=3,00]	7812,484	34471,474	,227	,821	-60042,615	75667,584
[Provincie=4,00]	-48116,206	35114,045	-1,370	,172	-117236,171	21003,758
[Provincie=5,00]	0 ^a	.	.	.	.	.
BodemECpct	5204,796	1402,716	3,711	,000	2443,630	7965,962
POPdens	129,567	26,848	4,826	,000	76,719	182,415

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Bijlage 4

Ontbrekende gemeenten

Bever	Mortsel
Gistel	Nevele
Herzele	Overijse
Lokeren	Ronse
Menen	Rumst
Mesen	Sint-Genesius-Rode
Moerbeke-Waas	Wemmel