



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

### **Masterthesis**

***Intermodale terminalselectie: analyse van het effect op het voor- en natransport***

#### **Tibe Anthonissen**

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

#### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Kris BRAEKERS



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

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

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

**2018**  
**2019**



# **Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen**

master in de handelswetenschappen

## ***Masterthesis***

***Intermodale terminalselectie: analyse van het effect op het voor- en natransport***

### **Tibe Anthonissen**

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

### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Kris BRAEKERS



## **Woord vooraf**

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelswetenschappen, afstudeerrichting Supply Chain Management, aan de faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen aan de Universiteit Hasselt. Ik heb gekozen voor het onderwerp 'intermodale terminalselectie: analyse van het effect van het voor- en natransport', daar intermodaal transport een interessant en actueel thema is binnen de logistieke sector. Een gezonde interesse in intermodaal transport heeft mij geholpen in de realisatie van deze masterproef.

Graag zou ik enkele personen willen bedanken voor alle medewerking en steun in verband met het realiseren van deze masterproef. In de eerste plaats wil ik mijn promotor Prof. dr. Kris Braekers bedanken voor de professionele begeleiding en voor het uitwerken van de routeplanning voor mijn empirische studie. Daarnaast wil ik ook mevrouw Hilde Heggen bedanken voor haar hulp en tips.

Verder zou ik enkele mensen willen bedanken voor hun bijdrage tot deze masterproef en tot mijn studies in het algemeen. In de eerste plaats wil ik mijn ouders bedanken voor hun morele en financiële steun tijdens mijn opleiding aan de Universiteit Hasselt. Ik wil ook mijn vriendin bedanken voor haar steun en vertrouwen gedurende de afgelopen jaren. Tenslotte wil ik mijn woord van dank nog richten aan mijn vrienden en medestudenten voor de nodige ontspanningsmomenten en voor de onvergetelijke studententijd die ik heb beleefd.

Tibe Anthonissen  
Borgloon, mei 2019



## Samenvatting

Het goedertransport blijft toenemen en uit statistieken van Eurostat blijkt dat unimodaal wegvervoer nog steeds de dominante speler is in het goedertransport in Europa. De aandacht voor het intermodaal transport neemt wel toe, maar van het totale goedertransport verloopt slechts 27% via alternatieve transportmodi. Intermodaal transport kent een hogere lead time en kosten door onder andere een slechte intermodale infrastructuur en interconnectiviteit tussen de verschillende transportmodi. Hierdoor kan het nog geen economisch alternatief voor unimodaal wegvervoer zijn. De locatie van intermodale terminals is een cruciaal aspect in het verbeteren van intermodale transportsystemen. In het proces van de optimale locatiebepaling zijn verschillende actoren met elk eigen belangen betrokken, waardoor het een complex verhaal is.

Het voor- en natransport speelt een belangrijke rol in de concurrentiepositie van intermodaal transport. Het voor- en natransport draagt bij tot de deur-tot-deurprestaties op gebied van servicekwaliteit. Doordat een groot deel van de kosten van intermodaal transport afkomstig is van het voor- en natransport, is het belangrijk om het voor- en natransport efficiënt te organiseren.

In deze masterproef wordt de locatiebepaling van intermodale terminals en de organisatie van het voor- en natransport onderzocht aan de hand van een literatuurstudie. Deze literatuurstudie bestaat uit twee delen: het eerste deel onderzoekt hoe de locatie van een intermodale terminal bepaald wordt en welke de betrokken partijen zijn; het tweede deel bespreekt de organisatie en de kostenbepalende factoren van het voor- en natransport. Naast de literatuurstudie bestaat deze masterproef ook uit een empirische studie. Het empirisch gedeelte omvat een planningsprobleem met enkele variabele parameters en via een exacte methode is een routeplanning gecreëerd. Het doel is het analyseren van het effect van het aantal actieve terminals op de afgelegde afstand van de trucks.

Hoofdstuk 2 begint met een overzicht van de betrokken actoren in het locatiebepalingsproces van een intermodale terminal. De betrokken actoren worden in drie groepen ingedeeld, namelijk de terminalgebruikers, de terminaleigenaars (en terminaloperatoren) en de actoren in een macro- en socio-economische context. Elke groep actoren heeft andere belangen en sommige belangen kunnen tegenstrijdig zijn met de belangen van andere actoren. Nadat de actoren in kaart zijn gebracht, kunnen optimalisatiemodellen ontwikkeld worden om de optimale locatie van een intermodale terminal te bepalen. Belangrijk hierbij is dat er rekening wordt gehouden met de belangen van alle betrokken actoren en met de geografische kenmerken van een potentiële terminallocatie. Zo is het belangrijk dat in de directe omgeving van een intermodale terminal voldoende vraag naar transport aanwezig is en dat de locatie over autosnelwegen, binnenvaart- en spooransluitingen beschikt. Geografische informatiesystemen zijn hierin een ondersteunend instrument. Verder worden enkele optimalisatiemethodes besproken, waaronder de LAMBIT-methode. De LAMBIT-methode evalueert potentiële terminallocaties en vergelijkt deze locaties met de karakteristieken van bestaande terminals. Hierdoor kan de beleidsvoerder een beslissing maken omtrent de locatie van een intermodale terminal.

In het derde hoofdstuk worden eerst enkele kostenbepalende factoren van het voor- en natransport onderzocht, inclusief de externe effecten van goederentransport. Enkele kostenbepalende factoren zijn de bezettingsgraad, het aantal lege transportritten en de afgelegde afstand. Daarnaast wordt de organisatie van het voor- en natransport besproken. Het is belangrijk om de rittenplanning efficiënt op te stellen waardoor het aantal lege transportritten geminimaliseerd wordt. Triangulatie van orders helpt bij het reduceren van de totale transportkost. Tenslotte worden de uitdagingen en de optimalisatiemogelijkheden van het voor- en natransport onderzocht.

In het laatste hoofdstuk wordt de empirische studie behandeld. Het effect van het aantal actieve terminals op de afgelegde afstand van de trucks wordt hier onderzocht. Door middel van het combineren van parameters worden verschillende scenario's gecreëerd. De variabele parameters zijn het aantal aanwezige terminals, het aantal transporttaken, de afmetingen van het service-gebied, het percentage inbound transporttaken en het aantal types laadeenheden. De resultaten per service-gebied worden geanalyseerd en binnen het service-gebied wordt nog een opsplitsing gemaakt in het aantal aanwezige terminals. Deze twee opsplitsingen worden gemaakt omdat er in sommige situaties een duidelijk verschil is in resultaten. In dit hoofdstuk wordt geconcludeerd dat een toename van het aantal actieve terminals leidt tot een daling van de gemiddelde afgelegde afstand, ongeacht de grootte van het service-gebied of het aantal aanwezige terminals binnen dat gebied. Het percentage inbound transporttaken heeft ook een grote invloed op de afgelegde afstand van de trucks, waarbij het balanceren van het aantal inbound en outbound transporttaken van belang is.

## Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	I
Samenvatting .....	III
Lijst van figuren .....	VII
Lijst van tabellen.....	IX
Lijst van afkortingen .....	XI
1. Probleemstelling .....	1
1.1 Praktijkprobleem .....	1
1.2 Onderzoeksvraag.....	3
1.3 Onderzoeksopzet .....	4
2. Locatiebepaling intermodale terminals .....	5
2.1 Actoren en factoren.....	5
2.2 Optimalisatiemodellen voor terminallocaties .....	7
2.2.1 Inleiding.....	7
2.2.2 Geografisch aspect .....	8
2.2.3 Multi-objective evaluatiemodel van Sirikijpanichkul en Ferreira (2005).....	9
2.2.4 Concept van Kayikci (2010) .....	10
2.2.5 LAMBIT .....	12
2.3 Conclusie.....	14
3. Voor- en natransport .....	17
3.1 Kosten.....	17
3.1.1 Kostenbepalende factoren .....	17
3.1.2 Kostenreductie.....	18
3.1.3 Externe effecten.....	19
3.2 Organisatie .....	21
3.2.1 Rittenplanning .....	21
3.2.2 Triangulatie .....	22
3.2.3 Containerregularisatie.....	23
3.3 Uitdagingen en optimalisatiemogelijkheden.....	24
3.3.1 Lege transportstromen.....	24
3.3.2 Planningsprobleem .....	24
3.4 Conclusie.....	26
4. Empirische studie.....	29



4.1	Situatieschets.....	29
4.2	Algemene resultaten .....	31
4.3	150 x 150 service-gebied.....	33
4.3.1	Inbound percentage.....	33
4.3.2	Aantal transporttaken .....	35
4.3.3	Laadeenheden .....	36
4.4	300 x 300 service-gebied.....	37
4.4.1	Inbound percentage.....	37
4.4.2	Transporttaken .....	38
4.4.3	Laadeenheden .....	39
4.5	Conclusie.....	40
	Referentielijst .....	41
	Bijlagen .....	45
	Bijlage 1: Het effect van het inbound percentage op de gemiddelde afstand .....	45
	Bijlage 2: Toename van de gemiddelde afstand ten opzichte van een evenwichtige verdeling van transporttaken.....	47
	Bijlage 3: Het effect van het aantal transporttaken op de gemiddelde afstand .....	48
	Bijlage 4: Effect van het aantal transporttaken (n) op de gemiddelde afstand per inbound percentage.....	49
	Bijlage 5: Effect van aantal actieve terminals en aantal transporttaken op gemiddelde afstand .	52

## Lijst van figuren

Figuur 1: Intermodaal transport, combinatie spoor-weg (Bron: Macharis, & Bontekoning, 2004) ...	2
Figuur 2: Hiërarchische structuur volgens AHP (Bron: Kayikci, 2010) .....	11
Figuur 3: ANN-structuur (Bron: Trafalis et al., 2002) .....	11
Figuur 4: GAIA-vlak voor criteria van terminalgebruikers (Bron: Verbeke, 1998).....	14
Figuur 5: Vergelijking externe kosten: unimodaal vs. intermodaal (Bron: Mostert & Limbourg, 2006) .....	20
Figuur 6: Triangulatie (Bron: Reinhardt et al., 2016) .....	23
Figuur 7: Effect van inboud percentage op gemiddelde afstand (150x150 met 4 terminals) .....	33
Figuur 8: Effect van aantal transporttaken op gemiddelde afstand (150x150 met vier terminals) .	35
Figuur 9: Effect van aantal transporttaken op de gemiddelde afstand (300x300 met zes terminals) .....	39



## Lijst van tabellen

Tabel 1: Actoren en de belangrijkste criteria voor de locatiebepaling van een terminal .....	6
Tabel 2: Belang van de gewogen factoren volgens stakeholders (Eigen bewerking van Kayikci, 2010) .....	12
Tabel 3: Breakeven afstand: interne kosten vs. totale kosten (Eigen bewerking van Mostert & Limbourg, 2016) .....	21
Tabel 4: Parameters planningsprobleem .....	31
Tabel 5: Effect van het aantal actieve terminals op de gemiddelde afstand .....	31
Tabel 6: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (150x150 met vier terminals) .....	34
Tabel 7: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (150x150 met zes terminals) .....	34
Tabel 8: Effect van het aantal transporttaken (n) op de gemiddelde afstand per inbound percentage .....	36
Tabel 9: Effect van aantal types laadeenheden op gemiddelde afstand (150x150) .....	37
Tabel 10: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (300x300) .....	38
Tabel 11: Effect van aantal actieve terminals en aantal transporttaken op gemiddelde afstand ....	38
Tabel 12: Effect van aantal types laadeenheden op gemiddelde afstand (300x300) .....	39



## Lijst van afkortingen

- AEI: Automatic Equipment Identification
- AHP: Analytical Hierarchal Process
- ANN: Artificial Neural Networks
- CBD: Central Business District
- ECMT: European Conference of Ministers of Transport
- EDC: European Distribution Center
- EDI: Electronic Data Interchange
- FCL: Full Container Load
- FLT: Less than Truckload
- FTL: Full Truckload
- FTPDPTW: Full Truckload Pickup and Delivery Problem with Time Windows
- GAIA: Geometrical Analysis for Interactive Aid
- GIS: Geographic Information System
- GIS-T: Geographic Information System for Transportation
- ITU: Intermodal Terminal Unit
- LAMBIT: Locatie-Analyse Model voor Belgische Intermodale Terminals
- LCL: Less than Container Load
- PDP: Pickup and Delivery Problem
- PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
- TEU: Twenty Feet Equivalent Unit
- Tonkm: Tonkilometer
- VAL: Value Added Logistics
- VRP: Vehicle Routing Problem
- WTP: Willingness-to-pay



# 1. Probleemstelling

## 1.1 *Praktijkprobleem*

Het goederentransport neemt alsmaar toe en uit de statistieken van Eurostat kan geconcludeerd worden dat het wegvervoer de dominante speler is in het goederentransport in Europa. Van het totale vrachtvervoer wordt in Europa 76,4% getransporteerd via de weg. In België is dit een percentage van 73,1%. Het spoorvervoer is verantwoordelijk voor 17,4% van de totale vracht in Europa, terwijl binnenvaart slechts 6,2% voor haar rekening neemt. In België tellen binnenvaart en spoorvervoer respectievelijk 15,3% en 11,6% van het totale goederentransport (Eurostat, z.j.).

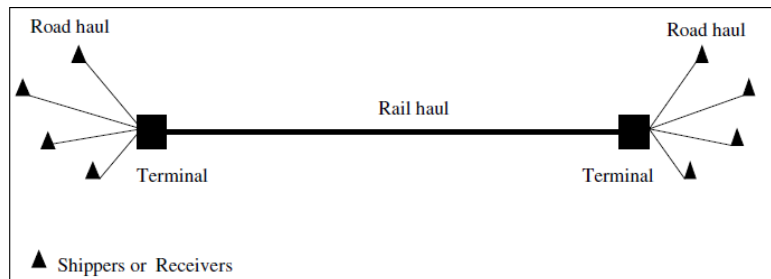
Ondanks de dominantie van het wegvervoer, zijn de getransporteerde volumes van intermodale transportmodi toegenomen in het laatste decennium. Het containertransport via binnenvaart bedroeg voor de Europese Unie in 2007 nog 5 miljoen TEU. In 2016 werd het volume op bijna 6,5 miljoen TEU geschat. Een stijging van anderhalf miljoen TEU, waarbij België, Nederland, Duitsland en Frankrijk de belangrijkste Europese lidstaten zijn dankzij de geografische ligging (Eurostat, z.j.). Voor Vlaanderen bedroeg in 1997 het containertransport via binnenvaart 59 700 TEU. Een decennium later, in 2007, is het volume met 764% gestegen ten opzichte van 1997. In 2015 bedroeg het Vlaamse containertransport via binnenvaart 565 376 TEU. In 1995 werd 2901 miljoen tonkilometer vervoerd via Vlaamse waterwegen. In 2015 is dit aantal gestegen tot 3887 miljoen tonkilometer (Promotie Binnenvaart Vlaanderen VZW, z.j.). Volgens de Union Internationale des Chemins de fer (UIC) (z.j.) bedroeg in 2017 het getransporteerde volume via spoorvervoer 640 miljoen ton voor de Europese Unie. Duitsland is met 271 miljoen ton de belangrijkste Europese lidstaat. Binnen de Europese Unie staat België met 18,94 miljoen ton op de negende plaats. Ondanks duidelijke groeicijfers heeft intermodaal transport slechts een klein aandeel van de totale goederentransportmarkt in handen. De haven van Antwerpen heeft een modal-splitdoelstelling voor 2030 geformuleerd waarbij binnenvaart en spoorvervoer moeten instaan voor respectievelijk 42% en 15% van het totale goederentransport. Het aandeel van wegvervoer wordt hierdoor gereduceerd tot 42% (Flows, 2016).

In de literatuur bestaan er meerdere definities van intermodaal transport. In deze eindverhaling wordt gebruik gemaakt van de algemene definitie van de European Conference of Ministers of Transport (ECMT): "Intermodaal goederentransport is het vervoer van goederen in éézelfde ladingseenheid, gebruik makend van twee of meerdere transportmodi zonder de goederen te behandelen tijdens het wisselen van transportmiddel" (European Conference of Ministers of Transport et al., 2001).

Het wegvervoer wordt ingeschakeld voor het voor- en natransport, waarbij de overslag plaatsvindt bij een intermodale terminal (zie figuur 1). Deze intermodale terminals kunnen trimodaal uitgerust zijn waardoor er een weg-, spoor- en binnenvaartverbinding aanwezig is (Tavasszy, Behdani, & Konings, 2015). Volgens Verbeke (1998) is een overslagterminal een intermodale terminal wanneer



aan de volgende drie voorwaarden wordt voldaan: (1) meer dan 50% van de behandelingen zijn behandelingen van eenheidsladingen (containers, pallets, swapbodies, vrachtwagens of opleggers), (2) de goederen zelf mogen gedurende de overslag niet behandeld worden en (3) de terminal moet over de nodige infra- en superstructuur beschikken voor de overslag van eenheidsladingen.



*Figuur 1: Intermodaal transport, combinatie spoor-weg (Bron: Macharis, & Bontekoning, 2004)*

Door de toenemende congestie en de problematiek rond milieu en verkeersveiligheid in het wegvervoer neemt de aandacht voor intermodaal transport toe (Caris & Janssens, 2009). Intermodaal transport wordt gezien als een duurzaam alternatief voor unimodaal wegvervoer. Door het combineren van transportmodi kan de ecologische voetafdruk van de transportsector gereduceerd worden (Sörensen, Vanovermeire, & Busschaert, 2012). De groei van intermodaal transport is deels te danken aan de subsidies verkregen in verschillende EU-lidstaten (Ballis & Golias, 2002). Intermodaal goederentransport is echter (nog) geen economisch alternatief voor wegtransport door de hoge(re) lead time en kosten. Dit is te wijten aan slechte intermodale infrastructuur en interconnectiviteit tussen de verschillende transportmodi (Sörensen et al., 2012). Bovendien is het organiseren van intermodaal transport een complexer verhaal dan bij unimodaal transport. Bij intermodaal transport wordt gebruik gemaakt van minstens twee transportmodi, waarbij elk transportmiddel specifieke karakteristieken heeft op vlak van infrastructuur en transporteenheden. Daarnaast wordt het controlemechanisme voor het intermodaal transportsysteem georganiseerd door meerdere actoren, die elk verantwoordelijk zijn voor slechts een deel van de transportketen. Daarenboven kent intermodaal transport een grote variëteit aan laadeenheden, treinwagons en trailer chassis, waardoor toewijzingsproblemen ontstaan (Macharis & Bontekoning, 2004).

De locatie van intermodale terminals is een strategisch belangrijke schakel in het verbeteren van intermodale transportsystemen (Sörensen et al., 2012). Het bepalen van de optimale terminallocatie is een complex probleem, daar verschillende economische actoren met elk eigen belangen betrokken zijn. Bovendien bestaat de terminalpolitiek uit zowel aanbod- als vraaggerelateerde elementen. Aangezien het bouwen van een terminal regionaal bepaald wordt, kan bij een aanbodgestuurde terminalpolitiek een overcapaciteit aan terminals ontstaan. In de meeste Europese landen vond de laatste decennia een verschuiving plaats van een aanbodgestuurde naar een meer vraaggestuurde terminalpolitiek. Aangezien intermodale terminals verschillen in fysische grootte en in transportmodi die behandeld worden, zorgt dit voor een bijkomende complexiteit (Verbeke, 1998).

De toenemende containeroverslag in zeehavens leidde tot een uitgebreider terminalnetwerk in het hinterland. Door de sterke toename in intermodale terminals moeten binnenvaartschepen en treinen bij meerdere terminals stoppen, waardoor er wachttijden en extra kosten ontstaan (Tavasszy et al., 2015). Een locatie-analysemodel geeft de mogelijkheid om een goed locatiebeleid te voeren dat enerzijds de wildgroei van het aantal intermodale terminals tegengaat en anderzijds de duurzaamheid van de transportsector kan ondersteunen (Verbeke, 1998). In deze masterproef wordt onder andere onderzocht hoe de optimale locatie van een intermodale terminal wordt bepaald.

Tenslotte moet het wegvervoer in de intermodale transportketen efficiënt georganiseerd worden om de aantrekkelijkheid van intermodaal transport te laten toenemen. Het voor- en natransport houdt in dat de containers opgepikt of bij klanten geleverd worden per wegvervoer (Caris & Janssens, 2009). Het voor- en natransport is een belangrijke schakel in de intermodale transportketen, daar 50% van de kosten van intermodaal transport gecreëerd worden door het voor- en natransport (Kreutzberger, Konings, & Aronson, 2006).

## **1.2 Onderzoeksvraag**

Uit de probleemstelling blijkt dat het aantal intermodale terminals en de locatie van deze terminals belangrijke schakels zijn die het intermodaal transportsysteem kunnen verbeteren. Om het intermodaal transport aantrekkelijker te maken, moet er aandacht besteed worden aan het wegtransport. Het efficiënt organiseren van het voor- en natransport is hierbij cruciaal. Om het onderzoeksthema af te bakenen wordt in deze masterproef de nadruk gelegd op de locatie-analyse van intermodale terminals en wat de effecten van het aantal intermodale terminals zijn op het voor- en natransport via de weg. Hieruit wordt de volgende centrale onderzoeksvraag afgeleid:

***"Wat zijn de effecten bij de selectie van een intermodale terminal op het voor- en natransport van intermodaal transport?"***

Om deze onderzoeksvraag te verduidelijken en om het onderzoeksproces efficiënt te laten verlopen worden enkele deelvragen gemodelleerd. Deze specifieke deelvragen gaan dieper in op de intermodale terminalselectie en de effecten op het voor- en natransport. De locatiebepaling van intermodale terminals is één van de meest cruciale aspecten binnen duurzame intermodale transportsystemen. In dit proces zijn meerdere stakeholders betrokken. De eerste deelvraag onderzoekt de betrokken actoren en hun belangen:

*1. Welke actoren spelen een rol in de locatiebepaling van een intermodale terminal?*

Wanneer duidelijk is welke actoren betrokken zijn bij de locatiebepaling, wordt onderzocht hoe het locatiebepalingsproces voor intermodale terminals tot stand komt en welke parameters hierin doorslaggevend zijn. Hieruit worden de volgende twee deelvragen afgeleid:

*2. Hoe wordt de optimale locatie van een intermodale terminal bepaald?*

*3. Welke parameters zijn doorslaggevend in de keuze van een intermodale terminal?*

Nadat deze deelvragen zijn onderzocht, wordt de focus gelegd op het voor- en natransport. Aangezien het voor- en natransport essentieel is om het intermodaal transport aantrekkelijker te maken, worden de financiële en niet-financiële kosten van het voor- en natransport in kaart gebracht. Hiervoor wordt de volgende deelvraag opgesteld:

4. *Wat zijn de financiële en niet-financiële kosten en gevolgen van het voor- en natransport?*

Eens de kosten en gevolgen van het voor- en natransport geanalyseerd zijn, worden optimalisatiemogelijkheden onderzocht om het wegtransport efficiënter in te zetten in de intermodale transportketen. Dit leidt tot de vijfde deelvraag:

5. *Hoe kan het voor- en natransport geoptimaliseerd worden?*

Tenslotte wordt aan de hand van praktijkgegevens de invloed van intermodale terminalselectie op het voor- en natransport onderzocht. De deelvraag voor de praktijkstudie luidt als volgt:

6. *Welke invloed heeft het aantal intermodale terminals binnen eenzelfde service-gebied op het voor- en natransport?*

### **1.3      *Onderzoeksopzet***

Deze thesis bestaat uit twee delen, enerzijds een literatuurstudie en anderzijds een empirische studie. In de literatuurstudie worden de eerste vijf deelvragen onderzocht. De literatuurstudie bestaat uit wetenschappelijke artikels, geraadpleegd via Google Scholar, Science Direct en ResearchGate. De zoektermen worden in het Engels ingegeven om een groter bereik te hebben zodat er een representatief beeld gecreëerd kan worden. De gebruikte zoektermen zijn: '*intermodal transport*', '*intermodal terminal*', '*terminal selection*', '*intermodal terminal location problem*', '*service network design*', '*pre- and end-haulage*', '*drayage problem*' en '*hinterland service*'.

In het empirisch gedeelte wordt onderzocht wat de effecten zijn op het voor- en natransport bij de selectie van potentiële intermodale terminals (deelvraag zes). Dit gebeurt aan de hand van analyses op basis van een bestaand model. Het is niet de bedoeling om zelf een model te ontwikkelen.

## **2. Locatiebepaling intermodale terminals**

In dit hoofdstuk wordt het locatieprobleem van intermodale terminals onderzocht. De betrokken actoren met elk hun belangen spelen een belangrijke rol in de locatiebepaling van intermodale terminals en worden beschreven in paragraaf 2.1. In paragraaf 2.2 wordt besproken hoe de terminallocatie wordt bepaalt, namelijk door het toepassen van optimalisatiemodellen. Daarnaast wordt het belang van het geografisch aspect voor de locatiebepaling van intermodale terminals onderzocht. Verder wordt in deze paragraaf het evaluatiemodel van Sirikijpanichkul en Ferreira (2005) besproken, omdat dit model rekening houdt met de belangen van alle betrokken actoren. Het conceptueel model van Kayikci (2010) wordt evenals besproken, daar het model het beslissingsproces benadert door middel van het integreren van de AHP- en ANN-methode. Tenslotte wordt het LAMBIT-project kort besproken. Het LAMBIT-project is gericht op het lokale terminallandschap van België. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de conclusie in paragraaf 2.3.

### **2.1 Actoren en factoren**

De locatiebepaling van een intermodale terminal heeft een financiële, economische, sociale en ecologische impact op verschillende stakeholders. De belanghebbenden zijn private investeerders, beleidsmakers, terminaloperatoren, intermodale transportoperatoren, de markt en de gemeenschap (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005). De betrokken actoren kunnen in drie groepen worden ingedeeld: de terminalgebruikers, de terminaleigenaars (en terminaloperatoren) en de actoren in een macro- en socio-economische context. De transportoperatoren, expediteurs, verzenders en ontvangers worden geclassificeerd als terminalgebruikers. De terminaleigenaars kunnen publiek, privaat of gemengd zijn. De verschillende niveaus van de overheid (Europees, Federaal, Vlaams of lokaal niveau) en derden die niet betrokken zijn in het proces maar wel beïnvloed worden door externe effecten, zijn de actoren in de macro- en socio-economische context. Elke groep van actoren hanteert verschillende criteria bij de bepaling van de optimale terminallocatie (Verbeke, 1998).

Vanuit het perspectief van terminalgebruikers is het belangrijk dat er toegang is tot de markt, tot distributiecentra en tot het Central Business District (CBD), het commercieel centrum van een stad met een hoge concentratie van bedrijven. Terminalgebruikers hechten belang aan de aangeboden diensten van de terminal (Value Added Logistics [VAL]) en goede verbindingen met andere transportmodi is van belang (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005). Optimalisatie van de totale transporttijd en -kost wordt nagestreefd, terwijl bij maritiem containertransport de betrouwbaarheid van de leveringstijd en de frequentie cruciale factoren zijn. Betrouwbaarheid wordt steeds belangrijker bij de keuze van een transportmodus door de ontwikkeling van just-in-time logistieke systemen (Verbeke, 1998).

Bepalende factoren voor de terminaleigenaar zijn de ligging en grootte van de site, de toegang tot transportinfrastructuur (wegen, spoorwegen, kanalen, havens, ...) en de toegankelijkheid van de terminal. De financiële levensvatbaarheid en stabiliteit zijn belangrijke factoren voor de

terminalhouder (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005). Terminaleigenaars streven winstmaximalisatie na indien het project wordt gedragen door privékapitaal. Wanneer de publieke overheid de belangrijkste investeerder is, kunnen omvangrijkere doelstellingen geformuleerd worden zoals het reduceren van maatschappelijke milieukosten door de modal shift naar binnenvaart of spoorvervoer te verhogen. Het maximaliseren van de uitbreidingsmogelijkheden en de klasse van de vaarweg zijn evenals prioriteiten. De inkomsten voor terminaleigenaars bestaan uit het verhuren van grond aan terminaloperatoren, verladers en tussenpersonen. De inkomsten voor terminaloperatoren bestaan uit het verkopen van diensten aan terminalgebruikers (Verbeke, 1998).

De actoren in de macro- en socio-economische context houden rekening met de effecten van de terminalinvestering op vlak van netwerkefficiëntie (complementariteit ten opzichte van Vlaamse zeehavens en ten opzichte van bestaande terminals), milieu, congestie en werkgelegenheid (Verbeke, 1998). Het blijft een uitdaging om externaliteiten – ecologische en sociale gevolgen voor derden die geen transportgebruikers zijn – te integreren in de locatiebepaling van intermodale terminals (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

Intermodale terminals zorgen voor toenemende welvaart in de regio, waardoor de beslissing om een terminal te openen meestal op nationaal of regionaal niveau genomen wordt. Overheden kunnen zorgen voor een spreiding van terminals zodat terminals voldoende hinterland hebben om rendabel te zijn. Het is echter belangrijk dat overheden over (financiële) indicatoren beschikken om prestaties van bestaande terminals te meten en om het potentieel voor nieuwe terminals in te schatten (Vanelslender, Sys, De Langhe, & Boon, 2014). Het nadeel van de betrokkenheid van lokale overheden is dat het internationale netwerk genegeerd wordt. Een overcapaciteit aan intermodale terminals leidt tot langere wachttijden aan de terminals door de vele tussenstops. Dit zorgt voor een lagere efficiëntie van intermodale transportsystemen (Limbourg & Jourquin, 2009; Verbeke, 1998).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste criteria die de actoren hanteren voor de locatiebepaling van een intermodale terminal.

*Tabel 1: Actoren en de belangrijkste criteria voor de locatiebepaling van een terminal*

<b>Actoren</b>	<b>Belangrijkste criteria</b>
<b>Terminalgebruikers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toegang tot de markt en distributiecentra</li> <li>- Aangeboden diensten (VAL)</li> <li>- Goede verbinding met andere transportmodi</li> <li>- Optimalisatie totale transporttijd en -kost</li> </ul>
<b>Terminaleigenaars en -operatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toegang tot transportinfrastructuur</li> <li>- Toegankelijkheid terminal</li> <li>- Financiële levensvatbaarheid en stabiliteit</li> </ul>
<b>Actoren in een macro- en socio-economische context</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Netwerkefficiëntie</li> <li>- Externaliteiten</li> </ul>

## **2.2 Optimalisatiemodellen voor terminallocaties**

### *2.2.1 Inleiding*

Optimalisatiemodellen worden gebruikt om de beste of optimale oplossingen te bekomen voor besluitvormingsproblemen (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005). Een optimalisatiemodel bestaat uit een doelfunctie, beslissingsvariabelen en beperkingen. De doelfunctie is de wiskundige beschrijving van de doelstelling met als doel het optimaliseren van deze doelstelling, namelijk het minimaliseren van de totale kosten of maximaliseren van de totale baten. De beslissingsvariabelen zijn de maatregelen die worden genomen om veranderingen in het systeem te bewerkstelligen en de beperkingen zorgen ervoor dat de beslissingsvariabelen beperkt blijven tot de haalbare of toegestane waarden (Hamerslag, 1982). In een multi-objective optimalisatiemodel worden twee of meer doelfuncties geformuleerd. De doelfuncties zijn vaak tegenstrijdig, waarbij een optimale oplossing tot stand komt door een afweging tussen de twee of meerdere tegenstrijdige doelstellingen (Deb & Deb, 2013). Om potentiële terminallocaties te evalueren, moeten de nodige criteria van de betrokken actoren worden opgenomen in het optimalisatiemodel. Hierdoor is het bepalen van de terminallocatie een multi-objective optimalisatieprobleem (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

Optimalisatiemodellen kunnen opgesplitst worden in twee soorten benaderingen met betrekking tot het oplossen: exacte benaderingen en heuristische benaderingen. Het voordeel van de exacte benadering is dat het de optimale oplossing aanbiedt, maar deze aanpak is enkel toepasbaar op kleinschalige problemen en vereist veel vereenvoudigende assumpties. Heuristische zoekstrategieën zijn praktisch voor complexe situaties en zijn flexibel met betrekking tot de aard van de doelfunctie en beperkingen. Het nadeel van een heuristische aanpak is dat deze techniek geen garantie biedt voor het vinden van de optimale oplossing, maar een heuristiek bekomt wel vaak een goede oplossing. Het oplossen van multi-objective optimalisatieproblemen gebeurt vaak aan de hand van heuristische technieken (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

Bij het opstellen van een multi-objective evaluatiemodel is het belangrijk om systeemgrenzen te definiëren. De systeemgrenzen bestaan uit drie dimensies: (1) ruimte (geografische beperkingen), (2) stakeholders en (3) de impact en het bereik van externe effecten. De verschillende stakeholders hebben elk eigen belangen en redeneren subjectief, waardoor de complexiteit van evaluatiemodellen toeneemt. De belangen van een stakeholder kunnen tegenstrijdig zijn met de belangen van andere belanghebbenden. Het is belangrijk om de belangen van alle actoren om te zetten in meetbare indicatoren (evaluatiecriteria) zodat deze geëvalueerd kunnen worden in een multi-objective evaluatiemodel (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

Locatiemodellen kunnen vervolgens in drie soorten modellen ingedeeld worden: continue modellen, netwerkmodellen en discrete modellen. Continue modellen veronderstellen dat er ruimtelijke vrijheid is voor het bepalen van de locatie, terwijl netwerkmodellen alle potentiële locaties van het

transportnetwerk identificeren. Discrete modellen bestaan uit een lijst van vooraf bepaalde potentiële locaties, waaruit het beste alternatief gekozen wordt (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

### 2.2.2 *Geografisch aspect*

Intermodaal transport heeft voldoende schaalgrootte nodig om efficiënt te renderen, bijgevolg is het belangrijk dat in de directe omgeving van een intermodale terminal voldoende industrie, logistieke parken en Europese distributiecentra (EDC) aanwezig zijn. Schaalgrootte zorgt onvermijdelijk voor extra wegvervoer waardoor de geografische ligging van de terminal uitgerust moet zijn met de nodige infrastructuur. De aanwezigheid van autosnelwegen, grote regionale verbindingswegen en binnenvaart- en spooransluitingen zijn fundamentele aspecten wat betreft de locatie van een intermodale terminal. Verder is het van belang dat de terminallocatie over uitbreidingsmogelijkheden beschikt. De oppervlakte van de terminal en de kaailengte spelen hierin een belangrijke rol. Indien voldoende oppervlakte ter beschikking is, kunnen magazijnen of opslagplaatsen gebouwd worden waardoor de terminal voldoende diensten kan aanbieden aan de klant (Vanelslander et al., 2014).

De locatie van een terminal heeft een directe invloed op regionale bedrijven, maar ook op de omgeving. Het OECD-model structureert de rollen van de publieke en private actoren. OECD is een transportmodel dat de belangrijkste delen van het logistieke systeem vastlegt. Volgens het OECD-model bestaat het transportsysteem uit vijf lagen: materiaalstroom, transportactiviteiten, informatiestroom, transportinfrastructuur en telecommunicatie-infrastructuur. De efficiëntie van het transportsysteem wordt gewaarborgd door de onderlinge verbindingen tussen de vijf lagen (OECD, 1992 in Bergqvist & Tornberg, 2008). Private organisaties zijn gefocust op de goederenstroom en de transportactiviteiten, waardoor een competitieve en efficiënte markt ontstaat. De transport- en telecommunicatie-infrastructuur wordt beheerd door de publieke sector, daar grootschalige investeringen vereist zijn (McKinnon, 1998 in Bergqvist & Tornberg, 2008). De duurzaamheid van de intermodale transportketen kan profijt halen uit een goede samenwerking tussen private en publieke actoren. Door een goede samenwerking kan de infrastructuur beter aansluiten op marktontwikkelingen en private behoeften (Bergqvist & Tornberg, 2008).

Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T) vormen een opportuniteit om het geografisch aspect van een evaluatiemodel te ondersteunen. GIS-T is een geografisch informatiesysteem dat complexe transportsystemen combineert, rekening houdend met de infrastructurele vereisten (Bergqvist & Tornberg, 2008). Een geografisch informatiesysteem is een beslissingsondersteunend systeem dat ruimtelijke informatie integreert en ruimtelijke analyses uitvoert (Grupe, 1990). Daarnaast maakt het informatiesysteem gebruik van informatieve kaarten, grafieken en animaties zodat een visuele weergave tot stand komt (Mendes & Themido, 2004).

De benadering van Bergqvist & Tornberg (2008) steunt op drie lagen van het transportsysteem: materiaalstroom, activiteiten en infrastructuur. Uitgebreide gegevensverzameling is vereist voor het analyseren en beschrijven van het model, vooral voor de activiteiten omdat deze bestaan uit

kwalitatieve aspecten van het gedrag van logistieke service providers en de systeemontwerpen en -logica. De variabelen voor de input data van het model zijn de materiaalstroom en de infrastructuur. Vanuit het perspectief van intermodaal transport bestaan materiaalstromen uit belangrijke fysieke dimensies zoals het type goed en de grootte.

Een geografisch informatiesysteem analyseert de beschikbare intermodale terminallocaties per regio. Gebieden die verbinding hebben met de spoorinfrastructuur worden door Bergqvist en Tornberg in cellen van 600 x 600 meter ingedeeld. Deze afmetingen zorgen ervoor dat de cellen voldoende groot zijn voor de aanwezigheid van een intermodale terminal. De dag- en nachtpopulatie in de cellen wordt onderzocht zodat cellen die gebouwen bevatten geëlimineerd kunnen worden. Cellen met een afwezigheid van weginfrastructuur worden ook verwijderd. De overgebleven cellen worden geëvalueerd op basis van de kosten, de impact op het milieu en de kwaliteit van logistieke systemen. De kostenraming gebeurt via een calculatie van het gewicht per afstand: tonkilometer (tonkm). Via het Dijkstra-algoritme wordt het pad met de minste kosten bepaald. De materiaalstroompaden worden gecreëerd door middel van het Dijkstra-algoritme en volgens het principe van effectieve tijd, dit wil zeggen de snelste snelheidslimiet op een koppeling. De impact op het milieu wordt veroorzaakt door emissies en geluidsoverlast. Emissies zijn bijna-lineair met de transportafstanden en -tijd. De geluidsimpact wordt uitgedrukt in de mate van geluidshinder gedurende een bepaalde periode. De omvang van het geluid wordt beheerd door het aantal voertuigen, de snelheidslimieten, de afstanden van de inwoners tot de weg en het aantal inwoners gepasseerd op de weg van en naar de terminal. Belangrijk bij de geluidsimpact is het kwantificeren van inwoners die geluidsoverlast ondervinden als gevolg van de locatie van een terminal. Het kwaliteitsaspect van logistieke systemen wordt geëvalueerd op de doorloopsnelheid van materiaalstromen. De locatie met de laagste tonkm biedt de hoogste servicekwaliteit met betrekking tot tijd, met de assumptie dat weg- en spoorvervoer dezelfde snelheid afleggen (Bergqvist & Tornberg, 2008).

### *2.2.3 Multi-objective evaluatiemodel van Sirikijpanichkul en Ferreira (2005)*

Het evalueren van locaties voor intermodale terminals is een cruciaal aspect in de ontwikkeling van intermodaal transport. Voor de locatiebepaling van intermodale terminals ligt de nadruk op de economische, omgevings- of kwaliteitsaspecten. De meeste methodes concentreren zich op één aspect en houden geen rekening met het optimaliseren van de belangen van alle betrokken actoren (Bergqvist & Tornberg, 2008). Het multi-objective evaluatiemodel van Sirikijpanichkul en Ferreira (2005) houdt rekening met de belangen van zowel private als publieke actoren. Het model bestaat de volgende vier modules: (1) landgebruik en transportnetwerken, (2) financiële levensvatbaarheid, (3) kosten voor de terminalgebruiker en (4) milieu- en verkeersimpact.

Het evaluatieproces begint met een lijst van potentiële terminallocaties. Deze lijst vormt de input voor de eerste module. De module landgebruik en transportnetwerken bestaat uit transportnetwerkgegevens van zones (residentiële gebieden, havens, industrieparken, ...), arcs (wegen, spoorwegen, ...) en nodes (intermodale terminals en andere knooppunten). Vervolgens



wordt de data omtrent de vraag naar transport opgenomen in de vorm van een herkomst-bestemmingsmatrix, evenals de gegevens omtrent transportbeleid zoals routes en vrachtwagenverboden. De output van de eerste module geldt als input data voor de resterende drie modules. De financiële levensvatbaarheid wordt uitgedrukt in kosten en omzet van de terminal. Deze kosten bestaan uit kapitaalkosten, operationele kosten en onderhoudskosten. Een terminal genereert omzet door middel van huuropbrengsten en opbrengsten uit operationele activiteiten. De duurzaamheid van de terminal wordt gewaarborgd of bedreigd door het volume, de bereidheid tot investeringen, de capaciteit van de terminal, concurrerende krachten en dergelijke. De operationele kosten, voertuigkosten, verdragingskosten en zogenaamde out-of-pocket kosten zoals een terminal fee of tolgelden vormen de terminalgebruikerskosten. De impact op het milieu wordt gemeten op basis van emissies en geluidsoverlast. Voor de verkeersimpact wordt rekening gehouden met de waarde van tijd en de voertuigkosten van transportgebruikers. Op basis van evaluatiecriteria en bijhorende gewichten worden de gegevens uit de modules geëvalueerd. Op het einde van het proces bekomt het evaluatiemodel een oplossing. Deze oplossing toont welke locatie optimaal is voor het plaatsen van een terminal. Wanneer de betrokken actoren niet tevreden zijn over deze oplossing, volgt een feedbackloop met twee mogelijkheden: een nieuwe lijst met potentiële locaties of het aanpassen van de door de stakeholders gegeven gewichten per evaluatiecriteria (Sirikijpanichkul & Ferreira, 2005).

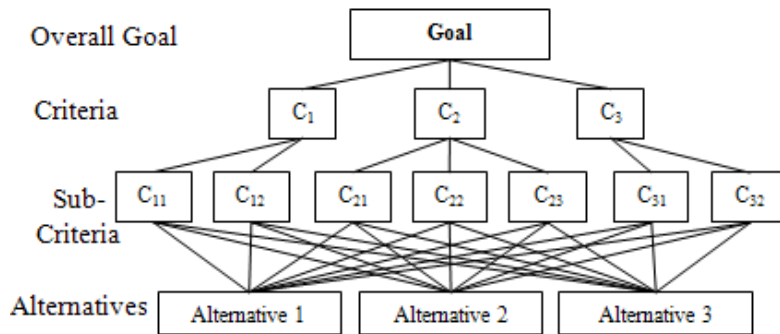
#### *2.2.4 Concept van Kayikci (2010)*

Volgens Kayikci (2010) kan een beslissingsprobleem voor locatieselectie opgelost worden door middel van twee bestaande methodes te integreren in één model. De twee bestaande methodes zijn het Analytical Hierarchal Process (AHP) en Artificial Neural Networks (ANN). Het conceptueel model omvat vier onderdelen: (1) hiërarchisch structureren, (2) gewichten toewijzen, (3) dataverzameling en (4) beslissing maken op basis van ANN. De meest belangrijke criteria krijgen een gewicht toegekend volgens een gewichtsvector, bepaald volgens de AHP-methode. Het ANN-algoritme kiest uit de verworven data de beste locatie.

##### *2.2.4.1 Analytical Hierarchal Process*

Analytical Hierarchal Process (AHP) is één van de meest gebruikte multi-criteria besluitvormingsmethoden en werd het eerst voorgesteld door Saaty (1980). AHP werkt met een hiërarchische structuur waarbij het probleem wordt opgesplitst in deelelementen (zie figuur 2). De methode bestaat uit drie fasen: (1) de hiërarchische structuur opstellen, (2) het evalueren en (3) de samenstelling van alternatieven. In de eerste fase wordt het beslissingsprobleem en de doelstelling vastgelegd, waarbij het beslissingsprobleem hiërarchisch wordt opgesplitst. Tijdens de evaluatiefase wordt het relatieve belang van elk element op een bepaald niveau paarsgewijs vergeleken. Om de prioriteit van elk element te bepalen, wordt gebruik gemaakt van numerieke waarden met behulp van een waarderingsschaal. Een veel voorkomende schaal is de Likertschaal (1-3-5, 1-3-9 of 1-5-9). In de laatste fase worden de gewichten van de elementen op elk niveau berekend met behulp van

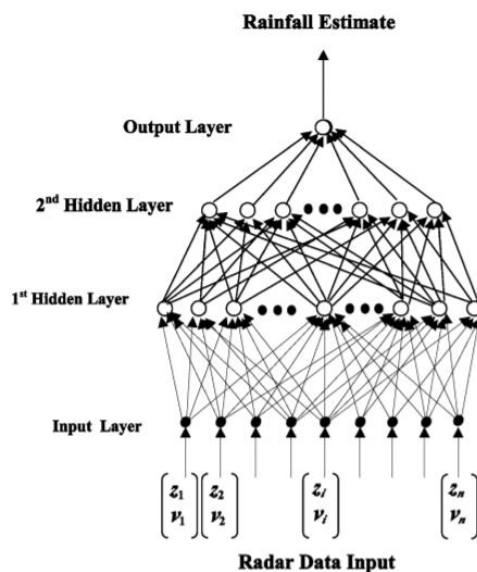
een eigenvector. Dit is een iteratief proces voor elk niveau van de hiërarchie totdat de finale beslissing gemaakt kan worden op basis van de totale samengestelde gewichten (Saaty, 1980 in Kayikci, 2010).



Figuur 2: Hiërarchische structuur volgens AHP (Bron: Kayikci, 2010)

#### 2.2.4.2 Artificial Neural Networks

Artificial Neural Networks (ANN) modellen zijn algoritmes voor intellectuele taken, gebaseerd op hoe het menselijk brein functioneert. Een ANN-model bestaat uit een aantal verwerkingselementen, neuronen genoemd, die elk een bijhorend gewicht toegekend krijgen. Via koppelingen is elke neuron geconnecteerd met andere neuronen. Het model bestaat uit verschillende lagen die elk uit neuronen bestaan (figuur 3). De eerste laag is de input laag, deze laag bevat de input neuronen. De laatste laag representeert de output laag waarin de output neuronen zich bevinden. De output neuronen communiceren het resultaat naar de eindgebruiker. Tussen de input en de output bevinden zich de verborgen lagen (hidden layers). De bijhorende neuronen worden hidden neurons of hidden units genoemd. De gebruiker kiest zelf uit hoeveel verborgen lagen het model bestaat. Het aantal neuronen per laag is afhankelijk van de preferentie van de gebruiker. Het ANN-model kan complexe patronen extraheren en trends detecteren die het menselijk brein niet kunnen opmerken. (Trafalis, Richman, White, & Santosa, 2002).



Figuur 3: ANN-structuur (Bron: Trafalis et al., 2002)

### 2.2.4.3 Integratie van AHP en ANN

Kayikci (2010) integreert de methodes van AHP en ANN om een model te creëren die de betrokken actoren helpt een beslissing te maken omtrent de locatiebepaling van een terminal. Daarnaast kunnen de resultaten van het model gebruikt worden om een softwareoplossing te ontwikkelen voor locatieselectieproblemen. Het model is toegepast op een empirische casestudy waarin het model, van de gegeven alternatieven, de beste oplossing aantoont.

Het begint bij het opstellen van een hiërarchische structuur en het bepalen van de gewichten van de criteria voor locatieselectie. De geïnterviewde stakeholders voor de empirische casestudy van Kayikci zijn operatoren, organisatoren, particulieren, infrastructuuroperatoren, de gemeenschap en de overheid. De hoofd- en deelcriteria worden hiërarchisch gestructureerd volgens AHP. De belangrijkste evaluatiecriteria zijn: ecologisch effect, economische schaal, intermodaal beheer, internationale marktlocatie en nationale stabiliteit. Voor elk hoofdcriterium worden ook subcriteria opgesteld. Voor elke stakeholder wordt de gewichtsvector berekend en genormaliseerd (Kayikci, 2010). Tabel 2 toont het belang van de gewogen criteria volgens de belanghebbenden. De vetgedrukte cijfers representeren welk evaluatiecriterium de hoogste score heeft gekregen per stakeholder. De stakeholders worden weergegeven volgens volgende legende: GE (gemeenschap), IO (infrastructuuroperatoren), OR (organisatoren), OP (operatoren), OV (overheid) en PA (particulieren).

Tabel 2: Belang van de gewogen factoren volgens stakeholders (Eigen bewerking van Kayikci, 2010)

<b>Evaluatiecriteria</b>	<b>GE</b>	<b>IO</b>	<b>OR</b>	<b>OP</b>	<b>OV</b>	<b>PA</b>
<b>Ecologisch effect</b>	0,08	0,19	0,14	0,19	<b>0,31</b>	0,15
<b>Economische schaal</b>	<b>0,44</b>	0,16	<b>0,30</b>	0,21	0,29	0,23
<b>Intermodaal beheer</b>	0,17	<b>0,26</b>	0,19	0,21	0,02	0,19
<b>Internationale marktlocatie</b>	0,02	0,24	0,14	0,13	0,17	<b>0,26</b>
<b>Nationale stabiliteit</b>	0,29	0,16	0,23	<b>0,25</b>	0,21	0,16

Het proces wordt herhaald voor de subcriteria die bij elk criterium hoort. Door middel van de gewichtsvector kunnen onbelangrijke deelcriteria geëlimineerd worden om de complexiteit van het model te reduceren. In het tweede deel van het model wordt een ANN-structuur opgemaakt. De overgebleven criteria vormen de input van het model en de output bestaat uit het selectiegewicht van de meest geschikte locaties. Een ANN-model moet veelvoudig getraind worden. In de case van Kayikci wordt het model getraind door middel van het Levenberg-Marquardt-algoritme, een niet-lineaire optimalisatiemethode, waardoor het model een validatie van 97% bekomt (Kayikci, 2010).

### 2.2.5 LAMBIT

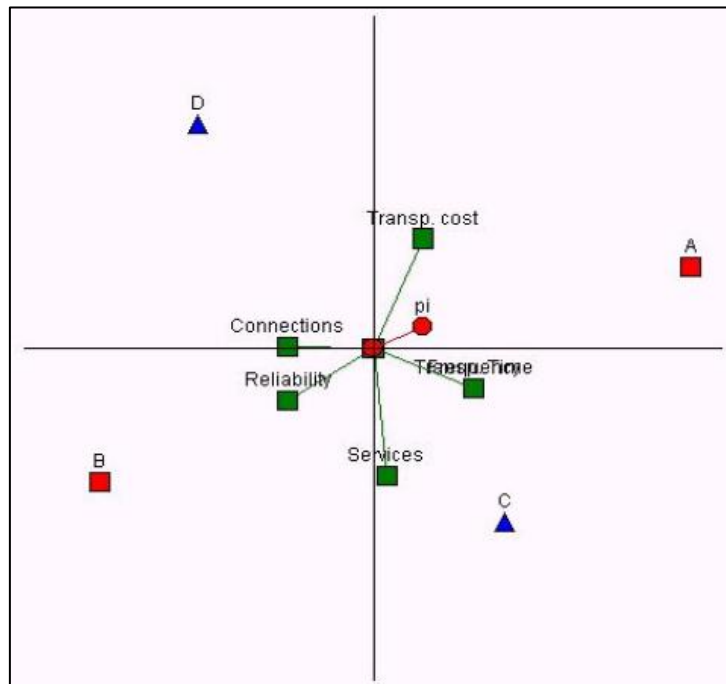
De intermodale transportsector is een groeiende sector en de Vlaamse overheid heeft gekozen voor het ondersteunen van deze sector, waarbij het evalueren van nieuwe terminalprojecten (initiatieven voor de bouw van een terminal) in het takenpakket van de Vlaamse overheid zit. Aangezien de

locatiebepaling van een intermodale terminal een complex probleem is, daar rekening gehouden moet worden met de belangen van de betrokken actoren, heeft de Vlaamse overheid nood aan beleidsinstrumenten om de terminalprojecten objectief te evalueren. Het LAMBIT-project (Locatie-Analyse Methode voor Belgische Intermodale Terminals) biedt hierin ondersteuning (Verbeke, 1998).

Het LAMBIT-project vormt een beeld van de Belgische intermodale transportmarkt en heeft als doel het stimuleren van deze transportmarkt door middel van het aanreiken van beleidsinstrumenten. Het project bestaat uit drie luiken: (1) het ontwikkelen van een databank met de belangrijkste gegevens van alle intermodale terminals in België (ligging van de terminal, type terminal, ...), waardoor een overzicht van het Belgische intermodale terminallandschap gecreëerd wordt; (2) via een enquête onderzoek doen naar de hinderpalen die de verdere groei van de intermodale transportsector belemmeren; (3) het ontwikkelen van een methode (de LAMBIT-methode) waarmee nieuwe intermodale terminalprojecten geëvalueerd kunnen worden. De LAMBIT-methode vergelijkt deze terminalprojecten met de karakteristieken van bestaande terminals. De sterkte- en zwaktepunten van terminals worden ontvouwd waardoor de beleidsvoerder een beslissing kan maken (Verbeke, 1998).

Het bepalen van de locatie door middel van de LAMBIT-methode gebeurt in drie fasen: (1) de preliminaire fase, (2) fase één en (3) fase twee. De preliminaire fase zorgt voor de input van het systeem. In deze fase worden een aantal potentiële locaties geïdentificeerd. Deze locaties kunnen reeds voorgestelde projecten zijn of worden geïdentificeerd aan de hand van de vraag naar transport. Deze potentiële locaties worden gescreend en de overgebleven locaties worden geëvalueerd op basis van de criteria van de verschillende betrokken actoren. De gewichten voor de criteria worden bepaald door middel van de AHP-methode. De resultaten van de multicriteria-analyse dienen als input voor een multi-actorenanalyse. De methode gehanteerd voor de multi-actorenanalyse is de Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE). De PROMETHEE-methode is geschikt voor beslissingsproblemen bestaande uit veel criteria en slechts enkele alternatieven. De methode evalueert de terminalprojecten op basis van de standpunten van de verschillende actoren. De grafische weergave van de resultaten wordt verzorgd door de Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA). Het GAIA-vlak projecteert de terminalalternatieven en de criteria in een assenstelsel. De criteria worden voorgesteld door assen die wijzen naar de alternatieven die goed scoren op die criteria. Wanneer twee assen samenvallen wijst dit op een positieve relatie tussen deze twee criteria. Het alternatief dat globaal het beste scoort op de verschillende criteria wordt aangewezen door een beslissingsas (Verbeke, 1998).

Figuur 4 is een voorbeeld van een GAIA-vlak voor de criteria van de terminalgebruikers, waarbij  $\pi$  de beslissingsas voorstelt. De criteria transportkost, transporttijd, frequentie van de diensten, verbindingen, betrouwbaarheid en aangeboden services zijn als assen opgenomen in het GAIA-vlak. De terminalalternatieven (A, B, C en D) worden opgenomen in het vlak. De  $\pi$ -beslissingsas wijst op deze figuur richting alternatief A, dit wil zeggen dat alternatief A het beste scoort op de verschillende criteria van de terminalgebruikers (Verbeke, 1998).



Figuur 4: GAIA-vlak voor criteria van terminalgebruikers (Bron: Verbeke, 1998)

De resultaten van de multi-actorenanalyse ondergaan een sensitiviteitsanalyse zodat de resultaten gevalideerd worden. Een sensitiviteitsanalyse onderzoekt in hoeverre een wijziging van de gewichten die toegekend zijn aan de criteria een invloed heeft op de rangschikking van de terminalprojecten. Twee solide instrumenten voor het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse zijn de 'stability intervals' en de 'walking weights'. De stability intervals zijn intervallen die de toelaatbare percentages laten zien waartussen een verandering van gewichten geen invloed heeft op de rangschikking. Met de walking weights kunnen de effecten op het resultaat bekeken worden wanneer een wijziging van gewichten plaatsvindt (Verbeke, 1998).

### 2.3 Conclusie

Het bepalen van de locatie van een intermodale terminal is een complex proces waarin meerdere actoren betrokken zijn. De actoren worden in drie grote groepen ingedeeld: de terminalgebruikers, de terminaleigenaars en de actoren in een macro- en socio-economische context. Elke groep heeft eigen belangen, waardoor er tegenstrijdige belangen aanwezig zijn tussen de drie groepen. Wanneer de belangen van alle actoren bekend zijn, worden optimalisatiemodellen opgesteld om de optimale locatie van een intermodale terminal te bepalen. Optimalisatiemodellen kunnen op verschillende manieren benaderd worden, zoals aangetoond in dit hoofdstuk. Belangrijk hierbij is dat de belangen van alle actoren geoptimaliseerd worden, aangezien de locatie van een intermodale terminal niet alleen een invloed heeft op de bedrijven, maar ook op de omgeving.

Voldoende schaalgrootte en de geografische aspecten zijn belangrijke elementen in de keuze van een intermodale terminallocatie. Het is belangrijk dat de intermodale terminal dicht bij klanten

gelegen is en dat er voldoende vraag naar transport aanwezig is. Verder moet op de geografische locatie van een terminal een goede transportinfrastructuur aanwezig zijn: aanwezigheid van een uitgebreid wegennetwerk en goede binnenvaart- en spooraansluitingen zijn hierin cruciaal. Tenslotte beschikt de optimale terminallocatie over voldoende oppervlakte, waardoor uitbreiding mogelijk is. Geografische informatiesystemen zijn instrumenten die het evaluatieproces van potentiële terminallocaties ondersteunen. De potentiële locaties kunnen geëvalueerd worden op basis van de kosten, de impact op het milieu en de kwaliteit van logistieke systemen.



### **3. Voor- en natransport**

In hoofdstuk drie wordt de focus gelegd op het voor- en natransport van intermodaal goederentransport. In paragraaf 3.1 worden de kostenbepalende factoren van het voor- en natransport besproken, worden enkele kostenreductiemaatregelen voorgesteld en worden de externe effecten van het voor- en natransport in kaart gebracht. Na het analyseren van de kosten, wordt de focus in paragraaf 3.2 gelegd op de organisatie van het voor- en natransport en wordt het concept triangulatie besproken. Verder, in paragraaf 3.3, worden optimalisatiemogelijkheden van het voor- en natransport besproken: de uitdaging rond lege transportstromen, het minimaliseren van de totale afgelegde afstand en het minimaliseren van de benodigde trucks. In de literatuur bestaan meerdere heuristieken om de rittenplanning te optimaliseren. Deze heuristieken kunnen niet allemaal besproken worden, waardoor een kort overzicht van enkele heuristieken wordt gegeven. Tenslotte wordt het 'full truckload pickup and delivery problem with time windows' besproken.

#### **3.1 Kosten**

Het voor- en natransport van intermodaal transport houdt in dat de containers opgehaald of bij klanten geleverd worden per wegvervoer (Caris & Janssens, 2009). Het voor- en natransport draagt bij tot de deur-tot-deurprestaties op gebied van servicekwaliteit en kosten. De geleverde service en de kosten van het voor- en natransport zijn belangrijke aspecten die bijdragen aan de concurrentiepositie van intermodaal transport (Kreutzberger, Konings, et al., 2006). De kostenstructuur van intermodaal transport bestaat voor een groot deel uit de kosten van het voor- en natransport (Morlok & Spasovic, 1995).

##### *3.1.1 Kostenbepalende factoren*

Transportkosten bestaan uit alle kosten die gemaakt worden om een transportdienst aan te bieden. Deze transportkosten kunnen in vaste en variabele kosten ingedeeld worden, waarbij de kosten afhankelijk zijn van het aantal transportritten en de lengte en de duur van deze ritten (Wiegmans & Konings, 2015). De vaste kosten zijn tijdgerelateerd (vaste kost per uur) en bestaan uit onder andere afschrijvingen of leasingkosten van het voertuig, interesten, verzekeringen, belastingen en de vaste kosten voor het inhuren van een extra chauffeur (Caris & Janssens, 2009; Wiegmans & Konings, 2015). De variabele kosten zijn onderworpen aan de afgelegde afstand (variabele kost per kilometer), waarbij langere afstanden voor een toename van de variabele kosten zorgen. De brandstof, het onderhoud en het vervangen van banden zijn voorbeelden van variabele kosten. Met andere woorden, de kostenkenmerken van productiefactoren die nodig zijn om de transportdienst aan te bieden en het efficiënt inzetten van deze productiefactoren zijn belangrijke factoren die invloed hebben op het kostenplaatje van het voor- en natransport (Wiegmans & Konings, 2015). Andere factoren die de kosten van het voor- en natransport beïnvloeden zijn onder andere de bezettingsgraad van het voertuig, de proportie lege ritten, de afstand, de gereden snelheid en de



wachttijden (Kreutzberger, Konings, et al., 2006; Morlok & Spasovic, 1995; Mostert & Limbourg, 2016).

De bezettingsgraad van een voertuig geeft het percentage weer van de mate waarin de totaal beschikbare capaciteit van een voertuig effectief gebruikt wordt. De bezettingsgraad wordt berekend door de gebruikte capaciteit te delen door de totaal beschikbare capaciteit (Mostert & Limbourg, 2016). Inzicht verwerven in de proportie lege ritten gebeurt door het aantal gereden kilometers in geladen toestand te delen door het totaal aantal gereden kilometers, waarbij het verschil in afstand bepaald wordt door de afstand van de lege ritten (Morlok & Spasovic, 1995). Transportfirma's hebben baat bij het minimaliseren van de afstand van lege ritten door de lege containers te transporteren naar het dichtstbijzijnde opslagdepot. In de praktijk is het vaak niet mogelijk om lege containers te transporteren naar de dichtst gelegen terminal, omdat deze methode kan zorgen voor een overschot aan lege containers bij een aantal terminals en een tekort aan lege containers bij andere terminals (Reinhardt, Pisinger, Spoorendonk, & Sigurd, 2016). De afstand tussen de terminal en de klant speelt, net als de snelheid waarmee de afstand afgelegd kan worden, een grote rol. De beschikbaarheid van snelwegen kan de afstand en de gereden snelheid beïnvloeden. Door laad- en lostijden en de toenemende congestie – zowel congestie in het wegtransport als congestie binnen de terminal door de groei van intermodaal transport – kunnen wachttijden aan terminals ontstaan. Deze hebben een effect op de kosten van het voor- en natransport (Morlok & Spasovic, 1995). Het aantal trucks dat een transportfirma inzet voor het bedienen van klanten heeft een invloed op de wachttijden binnen het servicegebied: een beperkt aantal trucks in gebruik zorgt voor een toename van het aantal te laat uitgevoerde orders, waardoor de operator een boete ontvangt; te veel ingezette trucks leidt tot een hogere wachttijd van de trucks (Kreutzberger, Konings, et al., 2006).

### *3.1.2 Kostenreductie*

Door middel van een betere informatiedoorstroom kunnen wachttijden aan terminals ingeperkt worden. Electronic Data Interchange (EDI) tussen de betrokken partijen leidt tot een hogere netwerkefficiëntie, daar EDI ervoor zorgt dat de terminal een melding krijgt wanneer de cargo is opgehaald door de transporteur. De terminal kan gebruik maken van Automatic Equipment Identification (AEI). AEI identificeert de binnenkomende trekkers en trailers, controleert de benodigde documenten en verwijst de trekker door naar de afgiftelocatie (Morlok & Spasovic, 1995).

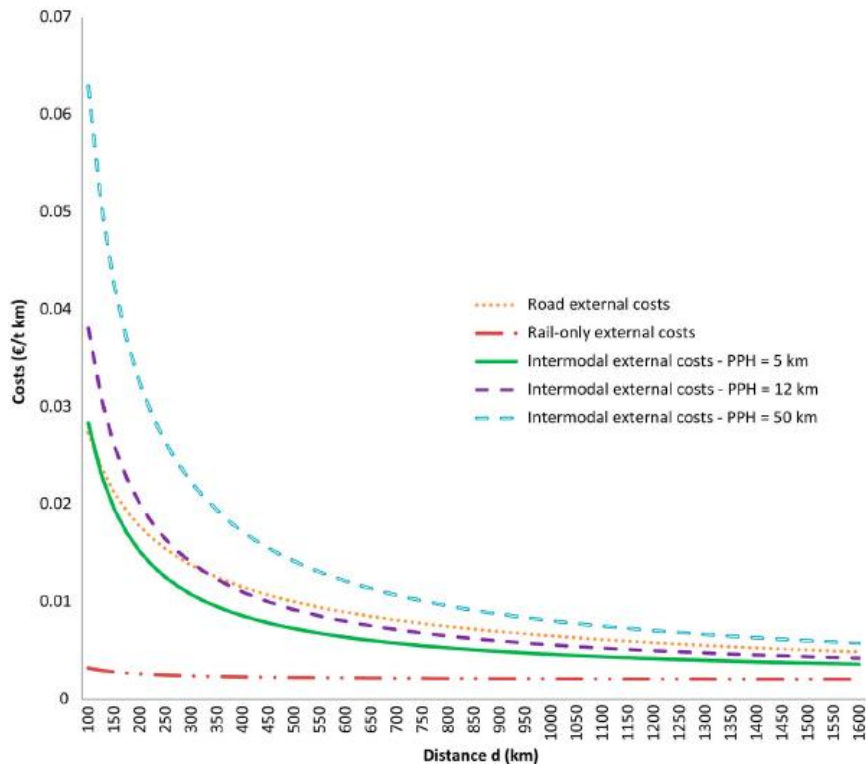
Volgens het onderzoek van Morlok en Spasovic (1995) kunnen de kosten van het voor- en natransport met 30% tot 45% gereduceerd worden door middel van een centrale planning van voor- en natransportactiviteiten. De planning van het voor- en natransport wordt in functie van de vraag en de servicevereisten opgesteld tegen minimale kosten. Door het samenwerken van transportfirma's kunnen zendingen efficiënter geconsolideerd worden, waardoor het aantal lege voertuigkilometers gereduceerd wordt (Caris, Macharis, & Janssens, 2008).

Net zoals de privésector over perspectieven tot kostenreductie beschikt, kan de publieke sector mogelijkheden aanbieden om de kosten van het voor- en natransport te minimaliseren. Met investeringen in intermodale connectiviteit kunnen transportkosten gereduceerd worden: betere toegankelijkheid, verkeersomstandigheden en -regels kunnen zorgen voor een efficiënter verloop van het voor- en natransport (Morlok & Spasovic, 1995). Het samenwerken tussen de verschillende betrokken partijen is van cruciaal belang om wachttijden en transportkosten te reduceren (Tavasszy, Behdani, & Konings, 2015).

### *3.1.3 Externe effecten*

Externaliteiten (externe effecten) zijn de neveneffecten van transport op derden, waarbij de neveneffecten niet in de prijs van het transport zijn inbegrepen. Externaliteiten bestaan uit congestie, ongevallen, luchtvervuiling, geluidsoverlast en de effecten op klimaatverandering (Maibach et al., 2007). Externaliteiten hangen af van verschillende factoren zoals het type transportmodus, de voertuigtechnologie, het type weg, de verkeersomstandigheden en de bevolkingsdichtheid (Mostert & Limbourg, 2016). Niet alleen de externe effecten van de uitgevoerde transportdienst spelen een rol, ook de opwaartse en neerwaartse gebeurtenissen kunnen in kaart gebracht worden. De opwaartse gebeurtenissen hebben betrekking op de externe effecten gecreëerd tijdens de productie van een transport gerelateerd onderdeel, zoals benzine of het produceren van voertuigen. De neerwaartse gevolgen zijn de externe effecten van gebruikte voorwerpen, zoals het vernietigen of recyclen van oude voertuigen (Kreutzberger, Macharis, & Woxenius, 2006).

De externe kosten van het voor- en natransport zijn de externaliteiten veroorzaakt tijdens het wegtransport tussen het vertrekpunt en de terminal of tussen de terminal en de bestemming. Het wegtransport veroorzaakt hogere externe kosten dan spoorvervoer of binnenvaart en de externe kostencurve van intermodaal transport daalt sneller met de afgelegde afstand dan de externe kostencurve van unimodaal wegvervoer. De externe kosten van het voor- en natransport hebben hierdoor een invloed op de competitiviteit van het intermodaal transport, daar intermodaal transport minder externe kosten kent dan unimodaal wegvervoer bij een korte voor- en natransportafstand (zie figuur 5) (Mostert & Limbourg, 2016). Wanneer de externe kosten niet geïnternaliseerd worden, worden deze kosten geschat door middel van de 'willingness-to-pay' (WTP) voor het vermijden, het verzachten of het beheren van de impact (Janic, 2007).



Figuur 5: Vergelijking externe kosten: unimodaal vs. intermodaal (Bron: Mostert & Limbourg, 2006)

De breakeven afstand geeft de afstand weer die minimaal afgelegd moet worden voordat intermodaal transport interessanter is dan unimodaal wegvervoer. Hoe groter de afstand van het voor- en natransport, hoe langer de breakeven afstand. De externe kosten van transport kunnen de breakeven afstand beïnvloeden. Wanneer de externe kosten worden opgenomen en wanneer de afstand van het voor- en natransport te lang is, kan het langeafstandsvervoer via het spoor of via de binnenvaart de hogere externe kosten veroorzaakt door het voor- en natransport niet compenseren, waardoor de breakeven afstand langer wordt en intermodaliteit minder interessant wordt. De afstand van het voor- en natransport moet hierdoor beperkt blijven om van intermodaal transport een competitief alternatief te maken (Mostert & Limbourg, 2016).

Volgens het onderzoek van Janic (2008) bedraagt in Europa de gemiddelde afstand van het voor- en natransport 50 kilometer. In Vlaanderen liggen de meeste logistieke centra binnen een straal van tien kilometer van een intermodale terminal (Verhetsel et al., 2015). Bij een voor- en natransportafstand van tien kilometer is de breakeven afstand 300 kilometer. Wanneer het voor- en natransport een afstand bedraagt van vijf kilometer, is het vanaf 225 kilometer interessant om van intermodaal transport gebruik te maken. Een voor- en natransport van 50 kilometer zorgt voor een breakeven afstand van 925 kilometer. Wanneer de externe kosten worden opgenomen, stijgt deze breakeven afstand bij een voor- en natransport van 50 kilometer tot 1100 kilometer. Bij een voor- en natransport van slechtst vijf kilometer, is intermodaal transport al interessant vanaf 200 kilometer indien rekening gehouden wordt met de externe kosten (Mostert & Limbourg, 2016). Tabel 3 illustreert deze verschillen in breakeven afstand.

Tabel 3: Breakeven afstand: interne kosten vs. totale kosten (Eigen bewerking van Mostert & Limbourg, 2016)

<b>Afstand voor- en natransport (in km)</b>	<b>Breakeven afstand (in km)</b>	<b>Breakeven afstand: interne + externe kosten (in km)</b>
<b>5</b>	225	200
<b>10</b>	300	300
<b>50</b>	925	1100

## **3.2 Organisatie**

### *3.2.1 Rittenplanning*

Het efficiënt organiseren van het voor- en natransport kan zorgen voor een positieve perceptie van intermodaliteit, aangezien een grote proportie van de totale kosten van intermodaal transport gecreëerd wordt door het wegtransport (Caris, Macharis, & Janssens, 2013).

Bij het organiseren van het voor- en natransport worden twee doelen nagestreefd: enerzijds het maximaliseren van het aantal uit te voeren orders en anderzijds het minimaliseren van lege retourritten. Belangrijk bij het eerste doel is het kiezen tussen 'stay with' en 'drop-and-pick' processen, terwijl het tweede doel betrekking heeft op het combineren van ritten. Tijdens stay with-ritten blijven de trekker en semi-trailer gekoppeld gedurende het laden en lossen van de container. Na het lossen van de container bij een klant kunnen drie scenario's plaatsvinden: (1) na het lossen van de container volgt een lege retourrit naar de terminal, (2) de container wordt bij een volgende klant gevuld om een lege retourrit naar de terminal te vermijden of (3) de container wordt bij dezelfde klant terug geladen en rijdt terug naar de terminal. Het aantal lege retourritten varieert tussen de 0% en 50%. Bij drop-and-pick-ritten worden, bij aankomst bij de klant, de trekker en semi-trailer losgekoppeld. Tijdens het laden en lossen van de container rijdt de trekker, al dan niet gekoppeld aan een nieuwe semi-trailer, terug naar de terminal. De losgekoppelde semi-trailer wordt op een later tijdstip terug opgepikt. Drop-and-pick-ritten kennen hogere variabele kosten dan stay with-ritten door het hoge aantal lege retourritten (tot 75%). Stay with-ritten hebben hogere vaste kosten, daar de bestuurder ter plaatse moet wachten tijdens het laad- en losproces (Wiegmans & Konings, 2015). Het voordeel van stay with-ritten is dat de trekker en semi-trailer nooit meer dan één tour per laadeenheid nodig hebben in het geval van kleinere goederenstromen, terwijl de semi-trailer in deze situatie bij drop-and-pick-ritten op een ander tijdstip terug opgepikt moet worden (Kreutzberger, Konings, et al., 2006). Bij korte afstanden zijn drop-and-pick-activiteiten kostenefficiënter (Wiegmans & Konings, 2015).

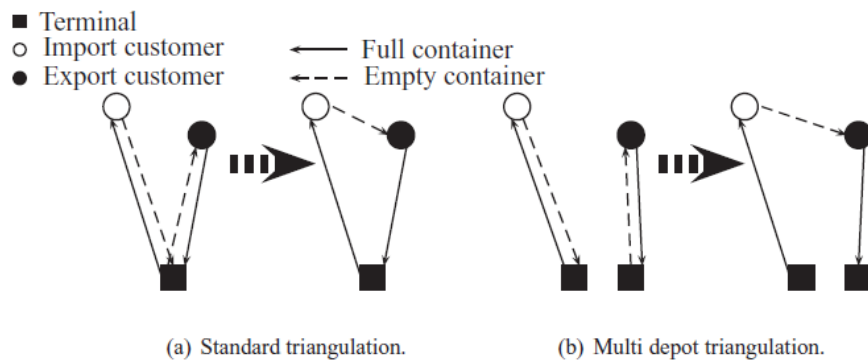
In Europa varieert de afstand van het voor- en natransport bij (inland) terminals tussen de nul en 25 kilometer voor een enkele rit. Slechtst enkele ritten hebben een afstand van meer dan 100 kilometer, zoals bij terminals gelegen in de Alpen. Een tour bestaat meestal uit vier tot vijf klanten, waarbij veel zendingen less than container load (LCL) zijn waardoor de orders van verschillende

verzenders geconsolideerd worden. Het voor- en natransport van een maritieme terminal is meestal voor één klant, waarbij de zending vaak een full container load (FCL) is. De transportkost per laadeenheid is hierdoor lager bij het voor- en natransport van maritieme terminals dan bij het voor- en natransport van inland terminals. Bij maritiem transport kan in bepaalde gevallen het voor- en natransport via de weg vermeden worden wanneer een spoor- en/of binnenvaartterminal aanwezig is bij de haven. Dit is positief voor de competitiviteit van de intermodale transportketen (Kreutzberger, Konings, et al., 2006).

### 3.2.2 *Triangulatie*

De orders van het voor- en natransport worden onderverdeeld in import- en exportorders: bij import wordt een beladen container vanuit de aankomstterminal geleverd bij een klant; terwijl het transporteren van een lege container naar een klant, waar de container wordt geladen en getransporteerd wordt naar de vertrekterminal, als export wordt beschouwd. Triangulatie van orders is wanneer een importcontainer ook gebruikt wordt voor een exportorder. Triangulatie vermindert de afstand die afgelegd moet worden, waardoor de totale transportkost gereduceerd kan worden. Daartegenover kunnen wachttijden ontstaan en de totale transportkost kan hierdoor terug toenemen. Triangulatie is alleen van toepassing wanneer het import- en exportorder hetzelfde type (lengte en hoogte) container nodig hebben. De container voor het importorder mag ook hoger zijn dan de benodigde container voor het exportorder, zolang de container (minstens) dezelfde lengte heeft. Door het onevenwicht in het aantal import- en exportorders, is het aantal triangulaties beperkt tot het minimumaantal van de twee soorten orders (Reinhardt et al., 2016). Figuur 6 geeft een schematisch overzicht van: (a) triangulatie waarbij de container vertrekt vanuit en toekomt aan dezelfde terminal en (b) triangulatie waarbij de vertrek- en aankomstterminal verschillend zijn.

Een vorm van triangulatie in de praktijk is 'multi-stop orders'. Bij een multi-stop order wordt de container bij meerdere klantenlocaties geladen (export) of gelost (import). De volgorde waarin de locaties bezocht worden ligt op voorhand vast. Bij een importorder vertrekt de gevulde container vanuit de aankomstterminal, waarbij de triangulatie plaatsvindt na het lossen bij de laatste klant. Bij een exportorder vindt de triangulatie plaats voordat het laden bij de eerste klant begint. Een andere vorm van triangulatie is 'chassi-triangulatie' – vooral van toepassing in Noord-Amerika – waarbij de trekker en semi-trailer ontkoppeld worden zodat de container geladen of gelost wordt bij de klant. Na de service haalt (een nieuwe) trekker de container terug op (Reinhardt et al., 2016).



Figuur 6: Triangulatie (Bron: Reinhardt et al., 2016)

### 3.2.3 Containerregularisatie

De lading van de trucks ingezet voor het voor- en natransport bestaat uit gestandaardiseerde eenheden (Intermodal Transport Units [ITU]). De meest voorkomende ITU bij intermodaal transport is een container. Een volle container wordt beschouwd als de maximumcapaciteit van een truck. Containers kunnen in het bezit zijn van logistieke bedrijven of van klanten en containers kunnen verschillen in omvang. Wanneer de vracht wordt gelost en de lege container op het voertuig aanwezig blijft, kan de lege container dienen voor het ophalen van de volgende vracht. Dit is enkel mogelijk wanneer de lege container voldoet aan de voorwaarden van het type container dat nodig is voor de volgende vracht. Na het lossen van de container kan de container ook achtergelaten worden bij de klant, daar het mogelijk is om een ander type container op te laden op het voertuig (Dotoli, Epicoco, Falagario, Angelico, & Vinciullo, 2015).

Bij het organiseren van het voor- en natransport moet rekening gehouden worden met de afmetingen van de containers. De maximum lengte van een trailer bepaald de lengte van de container. De 20- en 40-voet containers worden het meest gebruikt in de internationale handel. Een 40-voet container is in Europa en Azië de maximum toelaatbare containerlengte voor het wegtransport, met uitzondering van Finland en Zweden, waar 45-voet containers toegelaten zijn. De breedte van 20-, 40- en 45- voet containers is acht voet, met een hoogte van 2591 meter. In Noord-Amerika zijn grotere containers – 45-, 48-, 49- en 53-voet – toegelaten en deze worden in Canada en de Verenigde Staten van Amerika het meest gebruikt (Nagl, 2007). Niet alleen de lengte van een container, maar eveneens het gewicht van een beladen container is geregulariseerd. Een volledig beladen 20-voet container (FCL) is toegestaan in elk land en de meeste landen accepteren een 40-voet FCL, terwijl twee volledig beladen 20-voet containers vaak niet toegelaten zijn. Het vervoer van twee volledig beladen 20-voet containers wordt toegestaan binnen de Europese Unie wanneer het transport gebeurt met bepaalde voertuigtypes, deze de containers vervoeren door middel van speciaal gecombineerde chassis (Vidovic, Nikolic, & Popovic, 2012).

### **3.3     *Uitdagingen en optimalisatiemogelijkheden***

#### *3.3.1    Lege transportstromen*

De aantrekkelijkheid en winstgevendheid van de intermodale transportsector is afhankelijk van de efficiëntie van het voor- en natransport. Een efficiënte rittenplanning kan zorgen voor een vermindering van het aantal benodigde voertuigen en de afgelegde afstand van deze voertuigen, waarbij aan alle klantenwensen wordt voldaan (Dotoli et al., 2015; Gronalt, Hartl, & Reimann, 2003).

Een uitdaging binnen de rittenplanning van het voor- en natransport is het minimaliseren van de grote proportie lege ritten (Dotoli et al., 2015). Wanneer een klant goederen wilt verzenden of ontvangen moet een lege container opgehaald en getransporteerd worden naar de klant of naar de aankomstterminal, waar de container wordt gevuld en naar de bestemming of naar de klant wordt getransporteerd. Na het lossen van de container moet de lege container terug naar de opslagplaats worden vervoerd (Olivio, Zuddas, Di Francesco, & Manca, 2005). Het transporteren van lege containers heeft geen economische voordelen, het creëert enkel extra kosten (Wang & Wang, 2007). Het management van lege containers is van belang voor transportbedrijven, voor havens en voor intermodale terminals of depots (Olivio et al., 2005). Het minimaliseren van het transport van lege containers reduceert de operationele kosten van transportbedrijven en reduceert de externe effecten van transport (Braekers, Janssens, & Caris, 2011). Lege containers kunnen opgeslagen worden in een maritieme haven, in depots of in inland terminals. Een andere mogelijkheid is het toepassen van triangulatie (zie sectie 3.2.2). Triangulatie heeft een impact op het aantal lege ritten en kan de bijhorende kosten drukken (Hanh, 2003).

#### *3.3.2    Planningsprobleem*

##### *3.3.2.1   Literatuuroverzicht*

Het plannen van het voor- en natransport van containers wordt beschouwd als een 'pickup and delivery problem' (PDP), een uitbreiding van het 'vehicle routing problem' (VRP) (Caris et al., 2013). VRP ontwerpt minimale kostenroutes die zowel vertrekken als eindigen bij een depot, waarbij één set van klanten bediend wordt (Dumas, Desrosiers, & Soumis, 1991). Nagy en Salhi (2005) onderscheiden drie soorten PDP-modellen: (1) gelijktijdige afhaling en levering, (2) een mix van het ophalen en bezorgen van vracht en (3) eerst een volle container leveren bij een klant voordat de volgende klant bediend kan worden.

In de literatuur bestaan meerdere oplossingsmethodes voor een pickup and delivery problem. Het pickup and delivery problem voor trucks die niet volledig beladen zijn (less than truckload [LTL]) kan opgelost worden door middel van een exacte methode (Dumas et al., 1991). Het gebruikte algoritme van Dumas et al. (1991) houdt rekening met tijdvensters en behandelt meerdere depots en verschillende voertuigtypes. In Landrieu, Mati en Binder (2001) wordt een heuristiek voorgesteld om

dit probleem op te lossen. Het doel van de heuristiek is het minimaliseren van de afgelegde afstand van een truck, waarbij de maximumcapaciteit van een truck en de tijdvensters van de locaties gerespecteerd worden.

Dotoli et al. (2015) benaderen het pickup and delivery problem voor volle containers (FCL of full truckload [FTL]) door middel van een heuristiek bestaande uit twee fasen. De eerste fase bestaat uit het minimaliseren van de afgelegde afstand van de trucks en de tweede fase minimaliseert het totaal aantal benodigde trucks. De trucks hebben allemaal dezelfde capaciteit en een rondrit begint en eindigt altijd bij dezelfde terminal. Caris en Janssens (2009) ontwikkelen een tweefasen-heuristiek om het 'full truckload pickup and delivery problem with time windows' op te lossen. Daarnaast wordt gebruikt gemaakt van een verbeteringsheuristiek om de oplossingen uit de oorspronkelijke heuristiek te verbeteren. Escudero, Muñuzuri, Arango en Onieva (2011) nemen de heuristiek van Caris en Janssens (2009) als basis voor een dynamische setting met real-time informatie over de positie van de voertuigen. Met behulp van geografische positioneringssystemen met satellietverbinding kunnen de rittenplanners inspelen op de veranderende situaties. In de benadering van Braekers et al. (2011) wordt rekening gehouden met het transport van lege containers, waarbij de herkomst of de bestemming van leeg containervervoer op voorhand niet gekend is. Als oplossingsmethode wordt een tweefasen-algoritme ontwikkeld om de totale afstand en het aantal trucks te minimaliseren.

### *3.3.2.2 Full truckload pickup and delivery problem with time windows*

Het full truckload pickup and delivery problem with time windows (FTPDPWTW) is een rittenplanningsprobleem bestaande uit het voor- en natransport van volle containers, waarbij rekening gehouden wordt met de tijdvensters op klantenlocaties voor het ophalen en bezorgen van vracht. Het FTPDPWTW veronderstelt dat het voertuig één lading draagt en dat de lading uit een volle container bestaat (Caris & Janssens, 2009). Een order van een klant bestaat uit een type container, een ophaal- en bezorglocatie en het bijhorende tijdvenster van ophalen en bezorgen (Jansen, Swinkels, Teeuwen, van Antwerpen de Fluiter, & Fleuren, 2004). Het tijdvenster houdt in dat de service voor een klant op een bepaald tijdsinterval moet starten. Het voertuig moet op elke locatie vóór de laatst mogelijke servicetijd aankomen. De uitdaging binnen het FTPDPWTW is het minimaliseren van de totale servicekost van alle klanten (Caris & Janssens, 2009).

Een voertuig moet toegewezen worden aan het transport van een groep klanten, waarbij een combinatie van ritten nodig is. De kosten verbonden aan deze activiteit zijn de vaste voertuigkosten en de reiskosten. De reiskosten omvatten de kosten van de ritten en de wachttijden bij het laden en lossen van een container. Naast de voertuig- en reiskosten moet ook rekening gehouden worden met de reistijd. De reistijd tussen twee klanten, waarbij één truck gebruikt wordt, hangt af van welke klantencombinatie zich voordoet: (1) de eerste klant moet beleverd worden en bij de tweede klant moet de vracht opgepikt worden, (2) de twee klanten moeten beleverd worden, (3) bij de twee klanten moet de vracht opgepikt worden of (4) bij de eerste klant wordt de vracht opgehaald, bij de tweede klant wordt een container gelost. Alleen in de eerste situatie kan de truck rechtstreeks van de eerste klant doorrijden naar de volgende klantenlocatie. In de overige drie situaties moet de truck,



na het bedienen van de eerste klant, eerst terug naar de terminal voordat de volgende klant bediend kan worden (Caris & Janssens, 2009).

Het combineren van het bezorgen en ophalen van vracht bij klanten zorgt voor kosten- en tijdsbesparing, maar door ruimtelijke aspecten en tijdvensters bij klanten kan niet elke klant gecombineerd worden. Bij het combineren van klanten moet rekening gehouden worden met de grootte van de tijdsbesparing en de speling tussen de tijdvensters van de twee klanten. De tijdsbesparing die gecreëerd wordt bij het combineren van twee klanten moet zo groot mogelijk zijn, terwijl de speling tussen de tijdvensters van de twee klanten zo klein mogelijk geprefereerd wordt om wachttijden te vermijden. Na het combineren van klanten, moet een route opgemaakt worden waarbij twee mogelijkheden zijn: het creëren van een nieuwe rit of het uitbreiden van een bestaande rit. De combinatie van klanten kan aan een bestaande rit worden toegekend wanneer het voertuig speling heeft bij het bedienen van de klanten op de route, op voorwaarde dat het voertuig binnen het tijdvenster van de terminal de route kan afmaken. Indien de bestaande ritten niet voldoen aan de voorwaarden, wordt een nieuwe rit gecreëerd waarbij een voertuig dat nog niet in gebruik is wordt toegekend om de nieuwe combinatie van klanten te bedienen. Wanneer de klantencombinatie in meerdere bestaande ritten kan toegevoegd worden, wordt de rit met de kleinste wachttijd gekozen (Caris & Janssens, 2009).

### **3.4 Conclusie**

Het voor- en natransport speelt een belangrijke rol in de aantrekkelijkheid, de winstgevendheid en de competitiviteit van intermodaal goederentransport, daar de kostenstructuur van het intermodaal transport voor een groot deel uit voor- en natransportkosten bestaat. De kosten van het voor- en natransport worden beïnvloedt door meerdere factoren. Enkele van deze factoren zijn: de vaste en variabele transportkosten, de bezettingsgraad, de proportie lege ritten, de afstand die afgelegd wordt, de gereden snelheid en de wachttijden. Het efficiënt inzetten van productiefactoren, een efficiënte (centrale) rittenplanning, een goede informatiedoorstroom en intermodale connectiviteit kunnen zorgen voor een vermindering van de voor- en natransportkosten.

De afgelegde afstand van het voor- en natransport heeft een invloed op de breakeven afstand (de minimale afstand voordat intermodaal transport interessanter is dan unimodaal wegvervoer): hoe korter de voor- en natransportafstand, hoe korter de breakeven afstand; hoe langer deze afstand, hoe langer de breakeven afstand. De afstand van het voor- en natransport kan hierdoor zowel een positieve als negatieve invloed hebben op de competitiviteit van intermodaal transport. Verder moeten de externe effecten veroorzaakt door het voor- en natransport ook in kaart gebracht worden, daar het wegvervoer hogere externe kosten veroorzaakt dan het spoorvervoer en de binnenvaart. Wanneer de externe kosten worden opgenomen in de berekening van de breakeven afstand, kan een korte voor- en natransportafstand zelfs leiden tot een daling van de originele breakeven afstand. Bij een langer voor- en natransporttraject zal de breakeven afstand (inclusief externe kosten) toenemen ten opzichte van de originele breakeven afstand.

Nadat de kostenbepalende factoren bekend zijn, moet het voor- en natransport efficiënt georganiseerd worden om de kosten zo laag mogelijk te houden. Bij het organiseren van het voor- en natransport wordt rekening gehouden met twee doelen: (1) het maximaliseren van het aantal te bedienen klanten en (2) het minimaliseren van het aantal lege transportritten. Het eerste doel kan bewerkstelligt worden door middel van stay with-ritten of drop-and-pick-ritten. Bij stay with-ritten blijven de truck en semi-trailer gekoppeld tijdens het laden en lossen van de container, terwijl bij drop-and-pick-ritten de truck en semi-trailer losgekoppeld worden tijdens het laad- en losproces. Stay with-ritten zijn een betere optie met het oog op het minimaliseren van het aantal lege transportritten, daar het aantal lege transportritten tussen de 0% en 50% schommelt. Bij drop-and-pick-ritten kan dit percentage oplopen tot 75%. Om het aantal lege transportritten te minimaliseren, is het belangrijk om triangulatie van orders toe te passen. Triangulatie combineert een import (inbound) en export (outbound) order in één rondrit, waardoor het aantal lege transportritten en de totale transportkost dalen.

Tenslotte is het belangrijk om de uitdagingen en optimalisatiemogelijkheden van het voor- en natransport verder te onderzoeken. Het blijft een uitdaging om de grote proportie lege transportritten te minimaliseren. Verder onderzoek blijft nodig om de totale afgelegde afstand van de trucks, het aantal lege transportritten en het aantal gebruikte trucks te optimaliseren zodat intermodaal transport een economisch alternatief wordt voor unimodaal wegvervoer.



## **4. Empirische studie**

In dit hoofdstuk wordt het empirisch gedeelte van deze masterproef behandeld. Het empirisch gedeelte legt de focus op het voor- en natransport van intermodaal goederentransport. Het doel is het analyseren van het effect op de afgelegde afstand van de trucks wanneer het aantal actieve terminals wijzigt. Voor de empirische studie is via een exacte methode een routeplanning gesimuleerd op basis van artificiële data. In deze masterproef wordt de exacte methode niet in detail besproken. De artificiële data bestaat uit verschillende parameters die met elkaar gecombineerd kunnen worden. De resultaten van de routeplanning worden in Excel verwerkt. Aan de hand van het Excelbestand, met daarin de verschillende scenario's die gevormd zijn met de combinatie van parameters, wordt het effect van het aantal intermodale terminals binnen eenzelfde service-gebied op het voor- en natransport geanalyseerd.

In paragraaf 5.1 wordt de situatie geschetst waarin het planningsprobleem zich voordoet. In paragraaf 5.2 tot en met paragraaf 5.4 worden de geanalyseerde resultaten van de simulatie weergegeven. Paragraaf 5.2 geeft de algemene resultaten weer. Tussen paragraaf 5.3 en 5.4 wordt een onderscheid gemaakt tussen twee service-gebieden en binnen het service-gebied wordt een onderscheid gemaakt in het aantal aanwezige terminals. In paragraaf 5.3 ligt de focus op de resultaten binnen het service-gebied van 150 x 150 kilometer en in paragraaf 5.4 worden de resultaten van het service-gebied van 300 x 300 kilometer geanalyseerd. In de analyses wordt gewerkt met gemiddeldes, aangezien elke combinatie van parameters verschillende scenario's bevat omwille van de willekeurige geografische spreiding van klantenlocaties per scenario.

### **4.1 Situatieschets**

De routeplanning wordt gesimuleerd aan de hand van een planningsprobleem met variabele parameters. Voor elke combinatie van parameters worden tien probleeminstanties gegenereerd (in totaal worden 1800 probleeminstanties gegenereerd), waarbij de geografische spreiding van klantenlocaties in elk scenario verschillend is. Binnen een probleeminstantie kunnen meerdere scenario's ontstaan. Enerzijds verschilt per scenario het aantal actieve terminals met het gegeven van welke van de vier of zes terminals operationeel zijn. Anderzijds wordt gebruik gemaakt van een aantal vaste parameters:

- De trucks hebben een rijsnelheid van 40 kilometer per uur;
- De stoptijd bij een terminal voor het ophalen of afzetten van een beladen container bedraagt één uur;
- Voor het ophalen of afzetten van een lege container bij een terminal geldt een stoptijd van 30 minuten;
- De stoptijd voor het laden en lossen van een container bij een klant wordt voorzien van twee uur;
- Een truck mag op een dag maximaal 13 uur actief zijn;
- De breedte van de tijdvensters bij klanten bedraagt vijf uur.

De routeplanning respecteert de tijdvensters van klanten en de maximale tijd dat een voertuig kan ingezet worden. In de opgestelde routeplanning is voldaan aan het minimaliseren van de afgelegde afstand en het aantal gebruikte trucks. De trucks kunnen elk type laadeenheid transporteren en het stay with-principe is van toepassing: de trekker en semi-trailer blijven gekoppeld aan elkaar en wachten bij de klant totdat de dienst voltooid is. In de routeplanning wordt rekening gehouden met de reis- en stoptijden, evenals met de wachttijden die kunnen plaatsvinden wanneer de truck te vroeg op de klantenlocatie aanwezig is.

Een route van een truck begint en eindigt altijd bij een terminal, deze niet noodzakelijk dezelfde moet zijn. Een route kan uit één of meerdere van volgende componenten bestaan: (1) het uitvoeren van een inbound taak, (2) het uitvoeren van een outbound taak, (3) triangulatie: het uitvoeren van een inbound taak en een outbound taak en (4) het verplaatsen van terminal A naar terminal B (zonder container) om daar een nieuwe taak te starten.

Om een inbound taak uit te voeren, vertrekt de truck vanuit een terminal met een beladen container. De truck rijdt naar de klantenlocatie om de beladen container te lossen. Wanneer de dienst voltooid is wordt de lege container naar dezelfde of naar een andere terminal getransporteerd, waar de lege container gestockeerd wordt. Een outbound taak bestaat uit het ophalen van een lege container op de terminal en het transporteren van deze container naar de klantenlocatie. Bij de klant wordt de container geladen, waarna de truck met de beladen container richting de terminal rijdt om de container af te zetten. Triangulatie kan, zoals eerder besproken in hoofdstuk drie, alleen toegepast worden indien de types laadeenheden van de inbound taak en de outbound taak hetzelfde zijn. Bij triangulatie wordt de beladen container op de terminal opgehaald en getransporteerd naar de klantenlocatie. Bij de klant wordt de container gelost, waarna het voertuig met de lege container verder rijdt naar de volgende klantenlocatie. De container wordt op deze locatie opnieuw gevuld en de truck transporteert de beladen container naar de terminal om de container af te zetten.

Het planningsprobleem bestaat uit een vierkant service-gebied en een aantal terminals binnen dit service-gebied, waarbij verschillende scenario's kunnen plaatsvinden. De breedte en lengte van het service-gebied kan verschillen, daar het ene service-gebied 150 x 150 kilometer kan zijn en de andere mogelijkheid 300 x 300 kilometer is. De artificiële data voorziet twee mogelijkheden met betrekking tot het aantal aanwezige terminals binnen het service-gebied: het service-gebied kan voorzien zijn van vier of zes terminals, waarbij de terminals binnen het service-gebied symmetrisch gelegen zijn ten opzichte van elkaar. De overige parameters waar rekening mee gehouden moet worden zijn het aantal uit te voeren transporttaken (100, 200 of 300), het percentage inbound transporttaken ten opzichte van het totaal aantal transporttaken (20%, 35%, 50%, 65% of 80%), het aantal types laadeenheden (één, drie of zes) en de geografische spreiding van de klantenlocaties. De geografische spreiding is willekeurig bepaald. Tabel 4 geeft een overzicht van de parameters en de parameterwaarden.

Tabel 4: Parameters planningsprobleem

<b>Parameter</b>	<b>Parameterwaarden</b>				
<b>Aantal terminals</b>	4	6			
<b>Aantal transporttaken</b>	100	200	300		
<b>Afmetingen service-gebied (in km)</b>	150 x 150	300 x 300			
<b>Percentage inbound transporttaken</b>	20%	35%	50%	65%	80%
<b>Aantal types laadeenheden</b>	1	3	6		

## 4.2 Algemene resultaten

De grootte van het service-gebied en het aantal aanwezige en actieve terminals binnen het service-gebied hebben een grote invloed op de gemiddelde afgelegde afstand van de trucks ingezet voor het voor- en natransport en op het gemiddeld aantal rondritten. Tabel 5 geeft de gemiddelde afstand en het gemiddeld aantal rondritten weer per service-gebied (150 x 150 en 300 x 300 kilometer) met het aantal actieve terminals.

Tabel 5: Effect van het aantal actieve terminals op de gemiddelde afstand

<b>Aantal aanwezige terminals</b>	<b>Service-gebied</b>	<b>Aantal actieve terminals</b>	<b>Gemiddelde afstand (in km)</b>	<b><math>\Delta</math> extra terminal (1)*</b>	<b><math>\Delta</math> t.o.v. 1 terminal (2)*</b>	<b>Gemiddeld aantal routes</b>
<b>4</b>	<b>150 x 150 km</b>	1	20779,37			124,47
		2	14506,64	-30,19%	-30,19%	114,63
		3	10894,60	-24,90%	-47,57%	103,22
		4	8391,56	-22,98%	-59,62%	79,70
	<b>300 x 300 km</b>	1	54783,78			168,75
		2	35349,64	-35,47%	-35,47%	146,94
		3	24025,85	-32,03%	-56,14%	127,93
		4	16910,45	-29,62%	-69,13%	99,78
<b>6</b>	<b>150 x 150 km</b>	1	24025,05			132,92
		2	16457,78	-31,50%	-31,50%	123,54
		3	13116,44	-20,30%	-45,41%	118,89
		4	10980,64	-16,28%	-54,30%	113,36
		5	9457,67	-13,87%	-60,63%	101,79
		6	8349,44	-11,72%	-65,25%	80,59
	<b>300 x 300 km</b>	1	60742,74			172,14
		2	40813,69	-32,81%	-32,81%	155,22
		3	30779,61	-24,59%	-49,33%	144,19
		4	24573,52	-20,16%	-59,54%	135,28
		5	20524,21	-16,48%	-66,21%	124,77
		6	17010,90	-17,12%	-72,00%	101,08

(1)\*: deze kolom weergeeft de procentuele daling van de gemiddelde afstand per extra actieve terminal

(2)\*: deze kolom weergeeft de procentuele daling van de gemiddelde afstand ten opzichte van 1 actieve terminal

De eerste conclusie is dat een toename van het aantal actieve terminals – ongeacht de grootte van het service-gebied of het aantal aanwezige terminals – een daling van de gemiddelde afgelegde afstand en het gemiddeld aantal rondritten bewerkstelligt. Wanneer het aantal actieve terminals toeneemt, kunnen de trucks vanuit meerdere terminals vertrekken. Dit komt de afgelegde afstand ten goede, daar de afstand tussen de terminals en de klantenlocaties afneemt. Indien slechts één terminal actief is, neemt de afstand tussen de terminal en de klantenlocaties toe en stijgen de kosten van het voor- en natransport. Hoe groter het service-gebied, hoe groter de relatieve daling van de gemiddelde afstand bij een toename van het aantal actieve terminals. De relatieve grootte van de daling van de afstand vermindert per extra toegenomen actieve terminal.

Vervolgens worden de resultaten per service-gebied bekeken, daar de conclusies voor een kleiner service-gebied niet altijd gelden voor het groter service-gebied. Binnen het service-gebied kunnen vier of zes terminals aanwezig zijn, waardoor een opsplitsing van het aantal aanwezige terminals nodig is voor het analyseren van de resultaten. De resultaten van een service-gebied met vier aanwezige terminals verschillen met de resultaten van een service-gebied met zes aanwezige terminals. In een service-gebied van 150 x 150 kilometer waar vier intermodale terminals aanwezig zijn en waarvan slechtst één intermodale terminal operationeel is, bedraagt de gemiddelde afgelegde afstand van het voor- en natransport 20 779,37 kilometer en het gemiddeld aantal routes 125. In een service-gebied van 300 x 300 kilometer waarop dezelfde voorwaarden van toepassing zijn, stijgt de gemiddelde afgelegde afstand tot 54 783,78 kilometer en neemt het gemiddeld aantal rondritten toe tot 169. Tussen de grootte van het service-gebied en de gemiddelde afgelegde afstand is een positieve relatie aanwezig, evenals tussen de grootte van het service-gebied en het gemiddeld aantal rondritten. Wanneer de afmetingen van het service-gebied verdubbelen, verdubbelt de gemiddelde afgelegde afstand en ontstaat er een stijging in het gemiddeld aantal rondritten.

Een service-gebied waar vier terminals aanwezig zijn is, op vlak van gemiddelde afgelegde afstand, efficiënter dan een service-gebied met zes aanwezige terminals. Dit geldt voor zowel het service-gebied van 150 x 150 kilometer als voor het 300 x 300 kilometer gebied. De gemiddelde afgelegde afstand van de twee service-gebieden samen, met vier terminals aanwezig waarvan één terminal operationeel is, bedraagt 37 781,58 kilometer. In de service-gebieden met zes aanwezige terminals waarvan één terminal actief is, is de gemiddelde afstand die de trucks afleggen 42 383,90 kilometer. Wanneer in het service-gebied de aanwezige vier terminals allemaal operationeel zijn, bedraagt de gemiddelde afgelegde afstand 8391,56 kilometer voor het service-gebied van 150 x 150 kilometer en 16 910,45 kilometer voor het service-gebied van 300 x 300 kilometer. Wanneer in het 150 x 150 kilometer service-gebied vier van de zes terminals operationeel zijn, bedraagt de gemiddelde afgelegde afstand 10 980,64 kilometer. Bij de afmetingen 300 x 300 kilometer is de gemiddelde afstand 24 573,52 kilometer voor de vier actieve terminals.

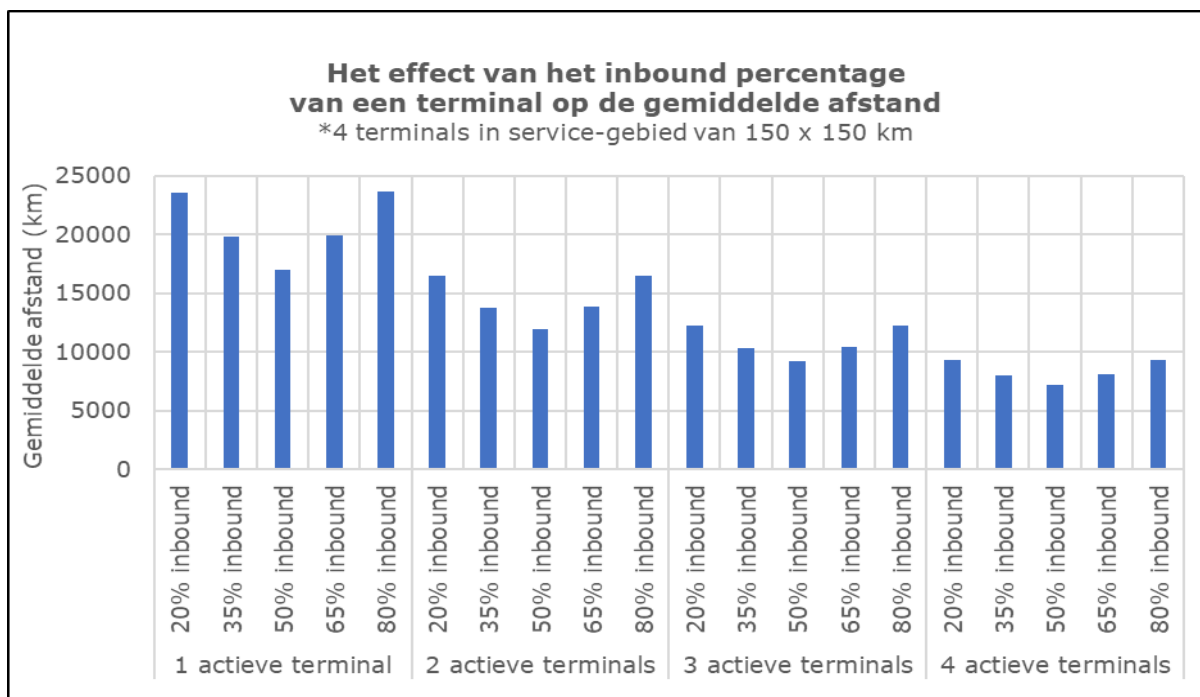
Wanneer de zes aanwezige terminals actief zijn, ligt de gemiddelde afstand voor het 150 x 150 kilometer service-gebied (8349,44 kilometer) lager dan wanneer hetzelfde service-gebied over vier aanwezige en operationele terminals beschikt (8391,56 kilometer). Ingeval het service-gebied een afmeting van 300 x 300 kilometer heeft, ligt de gemiddelde afstand voor de zes actieve terminals

hoger dan in hetzelfde service-gebied met vier aanwezige en actieve terminals. Het is enkel in het service-gebied van 150 x 150 kilometer efficiënter om over zes terminals te beschikken, op voorwaarde dat de zes terminals allemaal operationeel zijn.

### 4.3 150 x 150 service-gebied

#### 4.3.1 Inbound percentage

Het inbound percentage is het percentage van het aantal inbound transporttaken in vergelijking met het totaal aantal transporttaken (inbound + outbound). Figuur 7 weerspiegelt de situatie van een 150 x 150 kilometer service-gebied waarin vier terminals aanwezig zijn. De andere situaties zijn opgenomen in bijlage 1. Het staafdiagram toont de gemiddelde afstand per inbound percentage (20%, 35%, 50%, 65% en 80%) en weergeeft het effect wanneer het aantal actieve terminals toeneemt. Tabel 6 drukt de procentuele toename van de gemiddelde afstand uit wanneer de terminal over een onevenwichtige verdeling van transporttaken beschikt.



Figuur 7: Effect van inbound percentage op gemiddelde afstand (150x150 met 4 terminals)

Wanneer de terminal een inbound percentage van 50% heeft, betekent dit dat het aantal inkomende en uitgaande transporttaken in evenwicht is. Dit weerspiegelt zich in de gemiddelde afgelegde afstand: bij een evenwichtige verdeling van de transporttaken ligt de gemiddelde afstand het laagst. Indien het inbound percentage van de terminal 50% bedraagt, heeft de terminal voldoende lege containers ter beschikking om aan de vraag naar uitgaande transporttaken te voldoen. Bij een onevenwichtige verdeling van transporttaken kunnen bepaalde terminals lege containers op overschot hebben en beschikken andere terminals over te weinig lege containers. Het gevolg is dat er extra lege transportritten ontstaan. Bij een tekort aan lege containers zijn er twee mogelijkheden:



(1) de trucks moeten voor het uitvoeren van een outbound taak zich eerst verplaatsen naar een andere terminal om een lege container op te halen of (2) de trucks worden ingezet voor het transport van lege containers zodat de terminal met een te kort aan lege containers bevoorrad wordt. Wanneer een extreem onevenwicht plaatsvindt waarbij het aantal inbound transporttaken de bovenhand heeft (80%) of waarbij de inbound transporttaken voor slechtst 20% van de totale transporttaken instaan, stijgt de gemiddelde afstand met gemiddeld 35% ten opzichte van de evenwichtige situatie.

Een toename van het aantal actieve terminals reduceert de toename van de gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken. Bij één actieve terminal neemt de gemiddelde afstand, ten opzichte van een evenwichtige situatie, toe met 39% wanneer de terminal een inbound percentage heeft van 20% of 80%. In een service-gebied van 150 x 150 kilometer met vier actieve terminals stijgt de gemiddelde afstand met 29%. Door de vier aanwezige terminals allemaal te gebruiken, moeten de trucks minder afstand afleggen waardoor het verschil in afstand tussen de verschillende inbound percentages daalt.

Tabel 6: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (150x150 met vier terminals)

Toename van gemiddelde afstand t.o.v. 50% inbound (in%)		Aantal actieve terminals				TOTAAL GEM.
		1	2	3	4	
Inbound %	20%	38,60%	37,22%	33,14%	28,89%	<b>34,46%</b>
	80%	39,03%	37,71%	33,59%	29,04%	<b>34,84%</b>

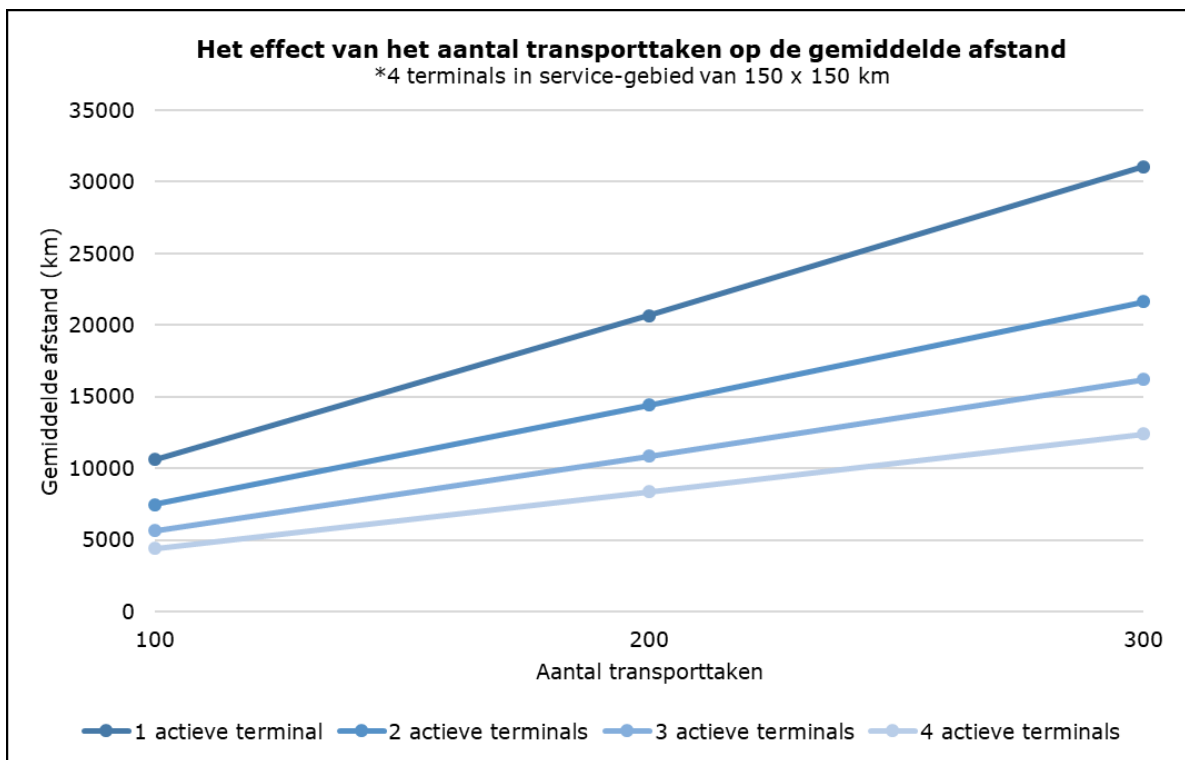
Indien het 150 x 150 kilometer service-gebied is uitgerust met zes terminals, geldt het principe in de vorige alinea (geïllustreerd in tabel 6) niet. Wanneer één terminal van de zes actief is, stijgt de gemiddelde afstand ten opzichte van het evenwicht met 33%. De procentuele toename van de gemiddelde afstand ligt bij het openen van twee, drie of vier terminals hoger, tot 39% à 40% bij twee actieve terminals. Vanaf vijf operationele terminals stijgt de gemiddelde afstand bij 20% inbound met 31% en bij 80% inbound met 33%. Indien de zes terminals allemaal operationeel zijn, ligt de procentuele toename ten opzichte van een evenwichtige verdeling van transporttaken het laagst, namelijk een verhoging van 28% en 30% voor respectievelijk 20% inbound en 80% inbound (tabel 7). De overeenkomst met het service-gebied met vier aanwezige terminals is dat het verschil in gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken geminimaliseerd wordt wanneer de aanwezige terminals allemaal operationeel zijn.

Tabel 7: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (150x150 met zes terminals)

Toename van gemiddelde afstand t.o.v. 50% inbound (in %)		Aantal actieve terminals						TOTAAL GEM.
		1	2	3	4	5	6	
Inbound %	20%	32,55%	38,52%	36,31%	33,34%	30,59%	28,11%	<b>33,24%</b>
	80%	33,25%	39,70%	37,84%	35,14%	32,65%	30,42%	<b>34,83%</b>

### 4.3.2 Aantal transporttaken

Het aantal transporttaken heeft een grote invloed op de gemiddelde afstand die de trucks afleggen. In deze sectie wordt de focus gelegd op het aantal transporttaken binnen een service-gebied van 150 x 150 kilometer. Figuur 8 illustreert het effect van het aantal transporttaken op de gemiddelde afstand binnen een service-gebied van 150 x 150 kilometer waarin vier terminals aanwezig zijn.



Figuur 8: Effect van aantal transporttaken op gemiddelde afstand (150x150 met vier terminals)

Het aantal uit te voeren transporttaken is evenredig met de gemiddelde afstand die de trucks afleggen: wanneer het aantal transporttaken verdubbelt, verdubbelt de gemiddelde afgelegde afstand. Dit geldt voor zowel het service-gebied van 150 x 150 kilometer met vier aanwezige terminals als voor het service-gebied met zes aanwezige terminals, ongeacht het aantal actieve terminals. De logische verklaring hiervoor is dat wanneer het aantal uit te voeren transporttaken toeneemt, de trucks meer ritten moeten uitvoeren waardoor de gemiddelde afstand stijgt.

Wanneer rekening gehouden wordt met het inbound percentage, ongeacht het aantal aanwezige terminals binnen het 150 x 150 kilometer service-gebied, geldt voor elk inbound percentage hetzelfde: een verdubbeling van het aantal transporttaken leidt tot een verdubbeling van de gemiddelde afgelegde afstand. Indien het inbound percentage 50% bedraagt, ligt de procentuele stijging van de gemiddelde afgelegde afstand het laagst. Bij een extreem onevenwicht waarbij het aantal inbound transporttaken voor 20% of 80% van het totaal aantal transporttaken instaat, ligt de procentuele toename van de gemiddelde afstand het hoogst. Tabel 8 weergeeft dit effect van het aantal transporttaken op de gemiddelde afstand per inbound percentage.

In de tabel wordt het aantal transporttaken aangeduid met de letter n: n(0) staat voor 100 transporttaken, n(1) is gelijk aan 200 transporttaken en n(2) bestaat uit 300 transporttaken. Kolom  $\Delta n$  (1,0) weergeeft de procentuele toename van de gemiddelde afstand wanneer het aantal transporttaken toeneemt van 100 tot 200. Hetzelfde principe geldt voor de kolommen  $\Delta n$  (2,0) en  $\Delta n$  (2,1). In bijlage 4 is de tabel van een 150 x 150 kilometer service-gebied met zes terminals opgenomen, evenals de tabellen van een 300 x 300 kilometer-service gebied met zowel vier als zes terminals.

Tabel 8: Effect van het aantal transporttaken (n) op de gemiddelde afstand per inbound percentage

<b>4 terminals in service-gebied van 150 x 150 km</b>							
	<b>Inbound %</b>	<b>n(0) = 100</b>	<b>n(1) = 200</b>	<b>n(2) = 300</b>	<b><math>\Delta n</math> (1,0)</b>	<b><math>\Delta n</math> (2,0)</b>	<b><math>\Delta n</math> (2,1)</b>
<b>1 actieve terminal</b>	<b>20%</b>	11943,45	23522,63	35286,75	96,95%	195,45%	50,01%
	<b>35%</b>	10014,32	19750,78	29519,76	97,23%	194,78%	49,46%
	<b>50%</b>	8934,51	17116,72	24995,76	91,58%	179,77%	46,03%
	<b>65%</b>	10259,21	19560,67	29813,08	90,66%	190,60%	52,41%
	<b>80%</b>	11903,61	23355,68	35713,63	96,21%	200,02%	52,91%
<b>2 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	8350,17	16396,37	24566,68	96,36%	194,21%	49,83%
	<b>35%</b>	7037,59	13695,31	20533,71	94,60%	191,77%	49,93%
	<b>50%</b>	6365,69	12039,57	17531,95	89,13%	175,41%	45,62%
	<b>65%</b>	7188,04	13680,32	20726,04	90,32%	188,34%	51,50%
	<b>80%</b>	8345,56	16311,33	24831,31	95,45%	197,54%	52,23%
<b>3 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	6240,73	12203,19	18241,97	95,54%	192,30%	49,49%
	<b>35%</b>	5362,18	10311,20	15379,55	92,30%	186,82%	49,15%
	<b>50%</b>	4938,88	9233,51	13381,38	86,96%	170,94%	44,92%
	<b>65%</b>	5465,08	10313,04	15538,25	88,71%	184,32%	50,67%
	<b>80%</b>	6251,65	12150,25	18408,08	94,35%	194,45%	51,50%
<b>4 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	4795,13	9297,10	13856,20	93,89%	188,96%	49,04%
	<b>35%</b>	4197,37	7987,03	11822,23	90,29%	181,66%	48,02%
	<b>50%</b>	3933,10	7260,43	10490,97	84,60%	166,74%	44,50%
	<b>65%</b>	4274,03	8015,97	11962,20	87,55%	179,88%	49,23%
	<b>80%</b>	4809,53	9293,37	13878,77	93,23%	188,57%	49,34%
		<b>Gemiddelde toename bij 20%</b>			<b>95,68%</b>	<b>192,73%</b>	<b>49,59%</b>
		<b>Gemiddelde toename bij 50%</b>			<b>88,07%</b>	<b>173,21%</b>	<b>45,27%</b>
		<b>Gemiddelde toename bij 80%</b>			<b>94,81%</b>	<b>195,15%</b>	<b>51,50%</b>

#### 4.3.3 Laadeenheden

Het aantal types laadeenheden heeft een minimale invloed op de gemiddelde afstand die de trucks afleggen. Het aantal types laadeenheden kan drie parameterwaarden aannemen: één type laadeenheid, drie types laadeenheden of zes types laadeenheden. Tabel 9 toont het effect van het aantal types laadeenheden op de gemiddelde afgelegde afstand.

Tabel 9: Effect van aantal types laadeenheden op gemiddelde afstand (150x150)

<b>Aantal aanwezige terminals</b>	<b>Aantal actieve terminals</b>	<b>Gemiddelde afstand in km</b>		
		<b>1 type laadeenheid</b>	<b>3 types laadeenheden</b>	<b>6 types laadeenheden</b>
<b>4</b>	1	20795,08	20771,51	20771,51
	2	14505,46	14507,23	14507,23
	3	10891,71	10896,04	10896,04
	4	8391,43	8391,63	8391,63
<b>6</b>	1	23998,39	24038,39	24038,39
	2	16421,93	16475,70	16475,70
	3	13087,57	13130,87	13130,87
	4	10954,22	10993,86	10993,86
	5	9430,28	9471,36	9471,36
	6	8319,41	8364,46	8364,46

De eerste conclusie is dat het aantal types laadeenheden enkel een effect heeft op de gemiddelde afgelegde afstand wanneer het aantal types verandert van één naar drie of van één naar zes. Indien het aantal types laadeenheden van drie naar zes gaat, heeft dit geen invloed op de gemiddelde afstand.

In de meeste gevallen is er een minimale stijging van de gemiddelde afstand wanneer het aantal types laadeenheden toeneemt. Een verklaring hiervoor is dat wanneer slechtst één type laadeenheid aanwezig is, triangulatie van orders meermaals kan plaatsvinden. Triangulatie van orders kan alleen wanneer het type laadeenheid voor het inbound en outbound order hetzelfde is. Indien het aantal types laadeenheden toeneemt, wilt dit zeggen dat niet elk inbound en outbound order gecombineerd kan worden. Dit kan resulteren in meer lege transportritten en door de geografische spreiding van de klanten kunnen klantencombinaties plaatsvinden tussen twee klanten die verder van elkaar gelegen zijn. De uitzondering in deze simulatie is het 150 x 150 kilometer service-gebied met vier aanwezige terminals waarvan slechtst één terminal actief is. In deze situatie daalt de gemiddelde afgelegde afstand bij een toename van het aantal types laadeenheden.

#### **4.4 300 x 300 service-gebied**

##### **4.4.1 Inbound percentage**

Het inbound percentage heeft binnen een 300 x 300 kilometer service-gebied een minder grote impact op de verschillen in de gemiddelde afgelegde afstand. Net als in het kleiner service-gebied, bevindt het optimale punt met betrekking tot de gemiddelde afstand zich bij een inbound percentage van 50%, ongeacht het aantal aanwezige en actieve terminals. Een onevenwichtige verdeling van de transporttaken zorgt in het service-gebied van 300 x 300 kilometer voor een vermeerdering van gemiddeld 17% in de gemiddelde afstand ten opzichte van het evenwicht. Dit is een minder sterke toename van de gemiddelde afstand in vergelijking met het kleinere service-gebied.

Indien het inbound percentage 20% bedraagt, in plaats van de evenwichtige situatie van 50%, stijgt de gemiddelde afstand met 5% wanneer één terminal actief is. Wanneer het aantal actieve terminals verhoogd wordt tot vier terminals, neemt de gemiddelde afstand toe tot 28% bij een inbound percentage van 20%. Waar in het kleinere service-gebied een toename van het aantal operationele terminals voor een gereduceerde procentuele toename van de gemiddelde afstand zorgt, daar het omgekeerde effect van toepassing is voor het 300 x 300 kilometer service-gebied (tabel 10). Dit principe geldt voor zowel het 300 x 300 kilometer service-gebied met vier aanwezige terminals als voor het gebied met zes aanwezige terminals. Dit is een opvallend resultaat en kan niet verklaard worden in deze masterproef. Verder onderzoek is nodig om dit effect te verklaren of om aan te tonen dat dit resultaat toeval is. Bijlage 2 weergeeft de tabel van een 300 x 300 kilometer service-gebied met zes aanwezige terminals.

Tabel 10: Toename gemiddelde afstand bij een onevenwicht van transporttaken (300x300)

Toename van gemiddelde afstand t.o.v. 50% inbound (in %)		Aantal actieve terminals				TOTAAL GEM.
		1	2	3	4	
Inbound %	20%	5,29%	12,30%	20,48%	28,42%	<b>16,63%</b>
	80%	5,61%	12,81%	21,11%	28,20%	<b>16,93%</b>

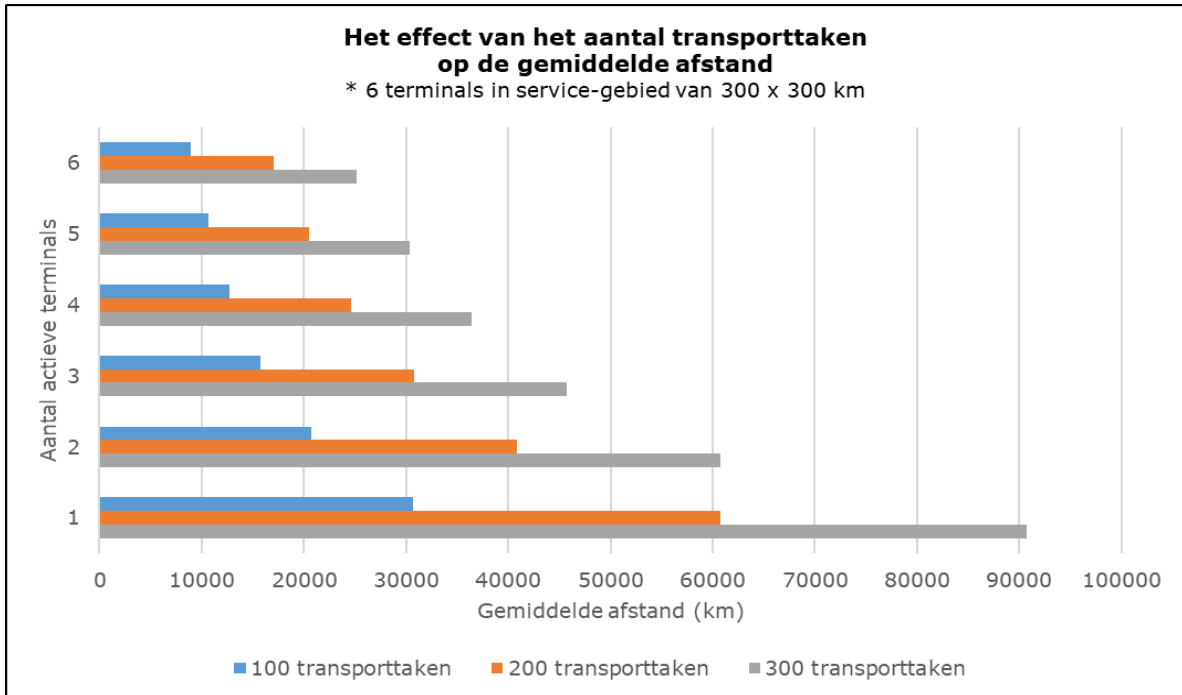
#### 4.4.2 Transporttaken

Binnen het 300 x 300 kilometer service-gebied heeft het aantal transporttaken hetzelfde effect op de gemiddelde afstand als in het 150 x 150 kilometer service-gebied, ongeacht het aantal aanwezige en actieve terminals. De gemiddelde afstand die de trucks afleggen verdubbelt bij een verdubbeling van het aantal uit te voeren transporttaken. Het aantal transporttaken heeft een duidelijke invloed op de gemiddelde afstand. Echter, de gemiddelde afstand daalt wanneer het aantal actieve terminals toeneemt, ongeacht het aantal uit te voeren transporttaken. Dit geldt voor beide service-gebieden met zowel vier als zes aanwezige terminals. Tabel 11 weergeeft dit resultaat voor het 300 x 300 kilometer service-gebied met zes aanwezige terminals. Figuur 9 illustreert de positieve relatie tussen het aantal transporttaken en de gemiddelde afstand. Een volledig overzicht is terug te vinden in bijlage 3 en bijlage 5.

Tabel 11: Effect van aantal actieve terminals en aantal transporttaken op gemiddelde afstand

Aantal actieve terminals	100 transport-taken	$\Delta$ extra terminal (1)*	200 transport-taken	$\Delta$ extra terminal (1)*	300 transport-taken	$\Delta$ extra terminal (1)*
<b>1</b>	30659,54		60801,14		90767,55	
<b>2</b>	20757,33	-32,30%	40876,82	-32,77%	60806,92	-33,01%
<b>3</b>	15776,45	-24,00%	30831,10	-24,58%	45731,27	-24,79%
<b>4</b>	12675,18	-19,66%	24618,92	-20,15%	36426,46	-20,35%
<b>5</b>	10646,47	-16,01%	20561,70	-16,48%	30364,47	-16,64%
<b>6</b>	8884,26	-16,55%	17013,05	-17,26%	25135,38	-17,22%

(1)\*: deze kolommen weergeven de procentuele daling van de gemiddelde afstand per extra actieve terminal



Figuur 9: Effect van aantal transporttaken op de gemiddelde afstand (300x300 met zes terminals)

#### 4.4.3 Laadeenheden

Net als in het kleiner service-gebied, heeft ook hier het aantal types laadeenheden slechtst een minimale impact op de gemiddelde afgelegde afstand. Het verschil met het kleiner gebied is dat een toename van het aantal types laadeenheden in meerdere gevallen leidt tot een daling van de gemiddelde afstand. In het 300 x 300 kilometer service-gebied met vier aanwezige terminals zorgen drie (of zes) types laadeenheden voor een minimalisatie van de gemiddelde afstand. Enkel wanneer de vier terminals allemaal actief zijn, is het efficiënter wanneer er één type laadeenheid aanwezig is. Indien het service-gebied over zes aanwezige terminals beschikt, stijgt de gemiddelde afstand wanneer meerdere types laadeenheden aanwezig zijn, ongeacht het aantal actieve terminals (tabel 12).

Tabel 12: Effect van aantal types laadeenheden op gemiddelde afstand (300x300)

Aantal aanwezige terminals	Aantal actieve terminals	Gemiddelde afstand in km		
		1 type laadeenheid	3 types laadeenheden	6 types laadeenheden
4	1	54796,87	54777,24	54777,24
	2	35363,95	35342,49	35342,49
	3	24033,92	24021,81	24021,81
	4	16903,57	16913,89	16913,89
6	1	60739,50	60744,36	60744,36
	2	40804,71	40818,18	40818,18
	3	30764,53	30787,15	30787,15
	4	24556,96	24581,80	24581,80
	5	20516,89	20527,87	20527,87
	6	16997,48	17017,61	17017,61

## **4.5 Conclusie**

De grootte van het service-gebied en het aantal actieve intermodale terminals hebben een grote invloed op de gemiddelde afgelegde afstand. Wanneer de afmetingen van het service-gebied verdubbelen, verdubbelt ook de gemiddelde afstand die de trucks moeten afleggen. Een toename van het aantal actieve terminals zorgt dan weer voor een daling van de gemiddelde afstand. In deze simulatie ligt de gemiddelde afstand het laagst in een 150 x 150 kilometer service-gebied waarin alle aanwezige terminals ook allemaal operationeel zijn.

Daarnaast heeft het aantal transporttaken ook een grote impact op de gemiddelde afstand: een verdubbeling van het aantal transporttaken leidt tot een verdubbeling van de gemiddelde afgelegde afstand. Dit is een logisch resultaat, daar de trucks meer ritten moeten uitvoeren wanneer het aantal uit te voeren transporttaken toeneemt.

Verder speelt het inbound percentage van transporttaken een belangrijke rol. Indien het inbound percentage van transporttaken 50% bedraagt, ligt de gemiddelde afstand die de trucks afleggen het laagst. Wanneer het aantal inkomende en uitgaande transporttaken in evenwicht is, zijn er voldoende lege containers ter beschikking om aan de vraag naar uitgaande transporttaken te voldoen en worden extra lege transportritten vermeden. Bij een inbound percentage van 20% en 80% heeft de terminal een onevenwicht van transporttaken en ligt de gemiddelde afstand het hoogst. Het verschil in afstand tussen de onevenwichtige en evenwichtige verdeling van transporttaken is afhankelijk van het service-gebied en het aantal actieve terminals. Waar in het kleinere service-gebied een toename van het aantal operationele terminals voor een gereduceerde procentuele toename van de gemiddelde afstand zorgt, daar het omgekeerde effect van toepassing is voor het 300 x 300 kilometer service-gebied.

Het aantal types laadeenheden heeft slechts een kleine invloed op de gemiddelde afstand. In de meeste gevallen zorgt een toename in het aantal types laadeenheden voor een kleine toename van de gemiddelde afstand. Echter, de gemiddelde afstand kent een kleine daling bij een toename van het aantal types laadeenheden ingeval één van de vier aanwezige terminals actief is in een 150 x 150 service-gebied. In een service-gebied van 300 x 300 kilometer met vier aanwezige terminals leidt een toename van het aantal types laadeenheden tot een daling van de gemiddelde afstand indien de vier aanwezige terminals niet allemaal operationeel zijn.

## Referentielijst

- Ballis, A., & Golias, J. (2002). Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(7), 593-611. doi:10.1016/s0965-8564(01)00024-6
- Bergqvist, R., & Tornberg, J. (2008). Evaluating locations for intermodal transport terminals. *Transportation Planning and Technology*, 31(4), 465-485. doi:10.1080/03081060802335125
- Braekers, K., Janssens, G.K., & Caris, A. (2011). Challenges in managing empty container movements at multiple planning levels. *Transport Reviews*, 31(6), 681-708. doi:10.1080/01441647.2011.584979
- Caris, A., & Janssens, G.K. (2009). A local search heuristic for the pre- and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research*, 36(10), 2763-2772. doi:10.1016/j.cor.2008.12.007
- Caris, A., Macharis, C., & Janssens, G.K. (2008). Planning problems in intermodal freight transport: Accomplishments and prospects. *Transportation Planning and Technology*, 31(3), 277-302. doi:10.1080/03081060802086397
- Caris, A., Macharis, C., & Janssens, G.K. (2013). Decision support in intermodal transport: A new research agenda. *Computers in Industry*, 64(2), 105-112. doi:10.1016/j.compind.2012.12.001
- Deb, K., & Deb, K. (2014). Multi-objective optimization. In E. Burke & G. Kendall (Eds), *Search Methodologies* (pp. 403-449). Boston: Springer.
- Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Angelico, B., & Vinciullo, A. (2015). A two-step optimization model for the pre- and end-haulage of containers at intermodal freight terminals. *2015 European Control Conference (ECC)*. doi:10.1109/ECC.2015.7331071
- Dumas, Y., Desrosiers, J., & Soumis, F. (1991). The pickup and delivery problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 54(1), 7-22. doi:10.1016/0377-2217(91)90319-q
- Escudero, A., Muñuzuri, J., Arango, C., & Onieva, L. (2011). A satellite navigation system to improve the management of intermodal drayage. *Advanced Engineering Informatics*, 25(3), 427-434. doi:10.1016/j.aei.2011.02.005
- European Conference of Ministers of Transportation, Economic Commission for Europe, & European Commission. (2001). Terminology on combined transport. Geraadpleegd op 31 oktober 2018, via <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/term.pdf>
- Eurostat. (z.j.). Container transport by type of good (from 2007 onwards with NST2007). Geraadpleegd op 3 november 2018, via <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Eurostat. (z.j.). Modal split of freight transport. Geraadpleegd op 3 november 2018, via <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>



- Flows. (2016). VEA: "Niet iedereen vindt weg naar intermodale oplossingen". *Flows*, 2016. Geraadpleegd op 11 februari 2019, via <https://www.flows.be>
- Gronalt, M., Hartl, R.F., & Reiman, M. (2003). New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 520-535. doi:10.1016/S0377-2217(02)00650-1
- Grupe, F.H. (1990). Geographic information systems: An Emerging Component of Decision Support. *Journal of Information Systems Management*, 7(3), 74-78. doi:10.1080/07399019008968360
- Hall, R.W. (1986). The fastest path through a Network with random time-dependent travel times. *Transportation Science*, 20(3), 182-188. doi:10.1287/trsc.20.3.182
- Hamerslag, R. (1982). *Inleiding optimalisatie en beslissingsmodellen*. Geraadpleegd op 15 mei 2019, via <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:2b90c3c3-5fc1-42c5-84afd5d31df1beda>
- Hanh, L.D. (2003). *Reengineering the logistics of empty cargo containers in the SCAG region*. Geraadpleegd op 20 april 2019, via <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.570.3027&rep=rep1&type=pdf>
- Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(1), 33-44. doi:10.1016/j.trd.2006.10.004
- Janic, M. (2008). An assessment of the performance of the European long intermodal freight trains (LIFTS). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1326-1339. doi:10.1016/j.tra.2008.06.008
- Jansen, B., Swinkels, P.C.J., Teeuwen, G.J.A., van Antwerpen de Fluiter, B., & Fleuren, H.A. (2004). Operational planning of large-scale multi-modal transportation system. *European Journal of Operational Research*, 156(1), 41-53. doi:10.1016/j.ejor.2003.02.001
- Kreutzberger, E., Konings, R., & Aronson, L. (2006). Evaluation of the cost performance of pre-and post-haulage in intermodal freight networks: Analysis of the interaction of production models and demand characteristics. In B. Jourquin, P. Rietveld & K. Westin (Eds), *Towards Better Performing Transport Networks* (pp. 256-284). London: Routledge.
- Kreutzberger, E., Macharis, C., & Woxenius, J. (2006). Intermodal versus unimodal road freight transport: A review of comparisons of the external costs. In B. Jourquin, P. Rietveld, & K. Westin (Eds), *Towards Better Performing Transport Networks* (pp. 17-42). London: Routledge.
- Landrieu, A., Mati, Y., & Binder, Z. (2001). A tabu search heuristic for the single vehicle pickup and delivery problem with time windows. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12(5/6), 497-508. doi:10.1023/a:1012204504849

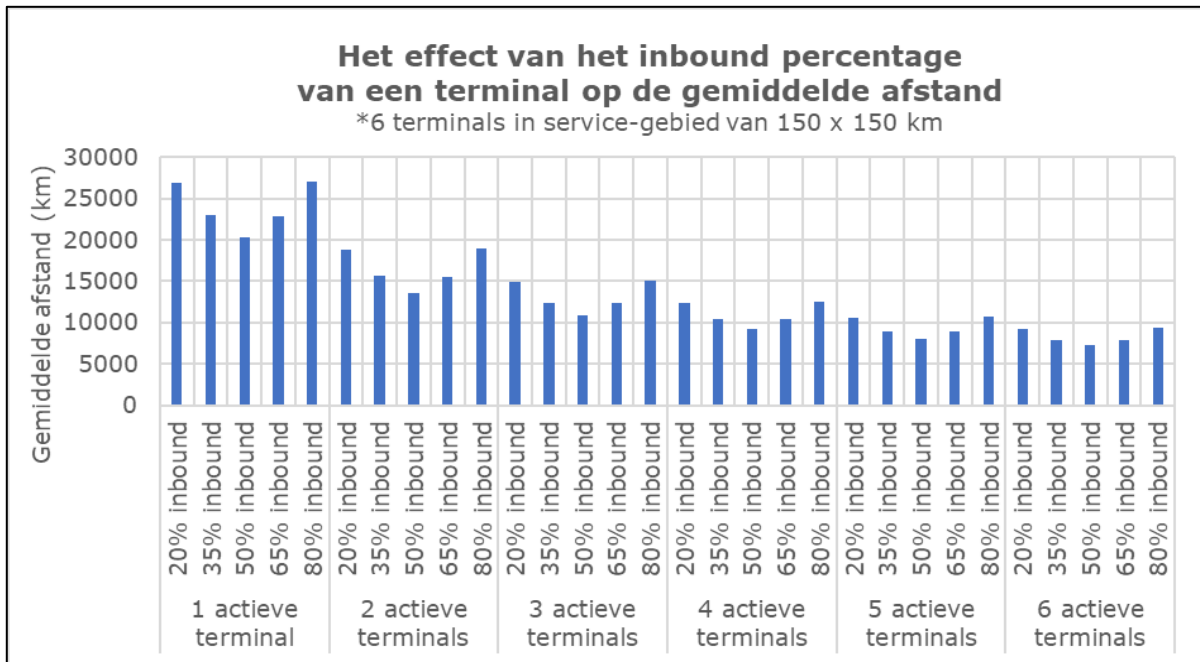
- Limbourg, S., & Jourquin, B. (2009). Optimal rail-road container terminal locations on the European network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(4), 551-563. doi:10.1016/j.tre.2008.12.003
- Macharis, C., & Bontekoning, Y.M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 400-416. doi:10.1016/S0377-2217(03)00161-9
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H.P., Boon, B.H., Smokers, R., ... Bak, M. (2007). Handbook on estimation of external cost in the transport sector: Produced within the study internalization measures and policies for all external cost of transport (IMPACT). Delft: CE Delft.
- Mendes, A.B., & Themido, I.H. (2004). Multi-outlet retail site location assessment. *International Transactions in Operational Research*, 11(1), 1-18. doi:10.1111/j.1475-3995.2004.00436.x
- Morlok, E.K., & Spasovic, L.N. (1995). Approaches to improving drayage in rail-truck intermodal service. Pacific Rim TransTech Conference. 1995 Pacific Rim TransTech Conference Proceedings. A Ride into the Future. doi:10.1109/prttc.1995.518066
- Nagl, P. (2007). Longer combination vehicles (LCV) for Asia and the Pacific region: Some economic implications. *UNESCAP Working Papers*, 2. United Nations.
- Nagy, G., & Salhi, S. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 126-141. doi:10.1016/j.ejor.2002.11.003
- Olivio, A., Zuddas, P., Di Francesco, M., & Manca, A. (2005). An operational model for empty container management. *Maritime Economics & Logistics*, 7(3), 199-222. doi:10.1057/palgrave.mel.9100136
- Promotie Binnenvaart Vlaanderen VZW. (z.j.). 1997-2015: containerbinnenvaart Vlaamse containerterminals in TEU. Geraadpleegd op 21 november 2018, via <https://www.binnenvaart.be/publicaties/feiten-cijfers>
- Reinhardt, L.B., Pisinger, D., Spoorendonk, S., & Sigurd, M.M. (2016). Optimization of the drayage problem using exact methods. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 54(1), 33-51. doi:10.1080/03155986.2016.1149919
- Sirikijpanichkul, A., & Ferreira, L. (2005). Multi-objective evaluation of intermodal freight terminal location decisions. *Proceedings of the 27<sup>th</sup> Conference of Australian Institute of Transport Research (CAITR)*, Queensland University of Technology, 7-9 december 2005.
- Sörensen, K., Vanovermeire, C., & Busschaert, S. (2012). Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem. *Computers & Operations Research*, 39(9), 2079-2090. doi:10.1016/j.cor.2011.10.005
- Tavasszy, L.A., Behdani, B., & Konings, R. (2015). Intermodality and synchronomodality. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.2592888

- Trafalis, T., Richman, M., White, A., & Santosa, B. (2002). Data mining techniques for improved WSR-88D rainfall estimation. *Computers & Industrial Engineering*, 43(4), 775-786. doi:10.1016/s0360-8352(02)00139-0
- Union Internationale des Chemins de fer. (z.j.). Railway statistics – synopsis. Geraadpleegd op 3 november 2018, via <https://uic.org/IMG/pdf/uic-statistics-synopsis-2017.pdf>
- Vanelslander, T., Sys, C., De Langhe, K., & Boon, E. (2014). *Kritische analyse van inland terminals in Vlaanderen: cases TCT Belgium en BCTN Meerhout*. Geraadpleegd op 28 februari 2019, via <https://hdl.handle.net/10067/1267950151162165141>
- Verbeke, A. (1998). LAMBIT: een model voor de ontwikkeling van duurzaam intermodaal transport in België. Geraadpleegd op 10 november 2018, via [http://www.belspo.be/belspo/organisation/publ/rappmobil\\_nl.stm](http://www.belspo.be/belspo/organisation/publ/rappmobil_nl.stm)
- Verhetsel, A., Kessels, R., Goos, P., Zijlstra, T., Blomme, N., & Cant, J. (2015). Location of logistics companies: A stated preference study to disentangle the impact of accessibility. *Journal of Transport Geography*, 42, 110-121. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.12.002
- Vidovic, M., Nikolic, M., & Popovic, D. (2012). Two mathematical formulations for the containers drayage problem with time windows. *International Journal of Business Science and Applied Management*, 7(3), 23-32.
- Wang, B., & Wang, Z. (2007). Research on the optimization of intermodal empty container reposition of land-carriage. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(3), 29-33. doi:10.1016/s1570-6672(07)60020-8
- Wiegmans, B., & Konings, R. (2015). Intermodal inland waterway transport: Modelling conditions influencing its cost competitiveness. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(2), 273-294. doi:10.1016/j.ajsl.2015.06.006

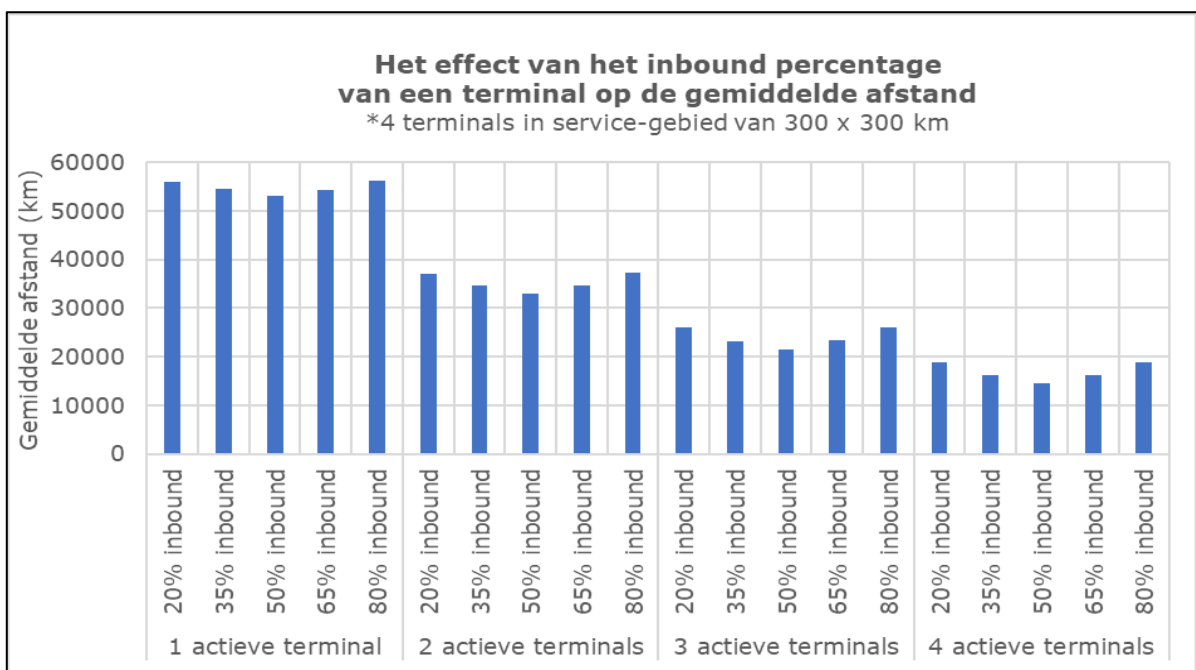
## Bijlagen

### ***Bijlage 1: Het effect van het inbound percentage op de gemiddelde afstand***

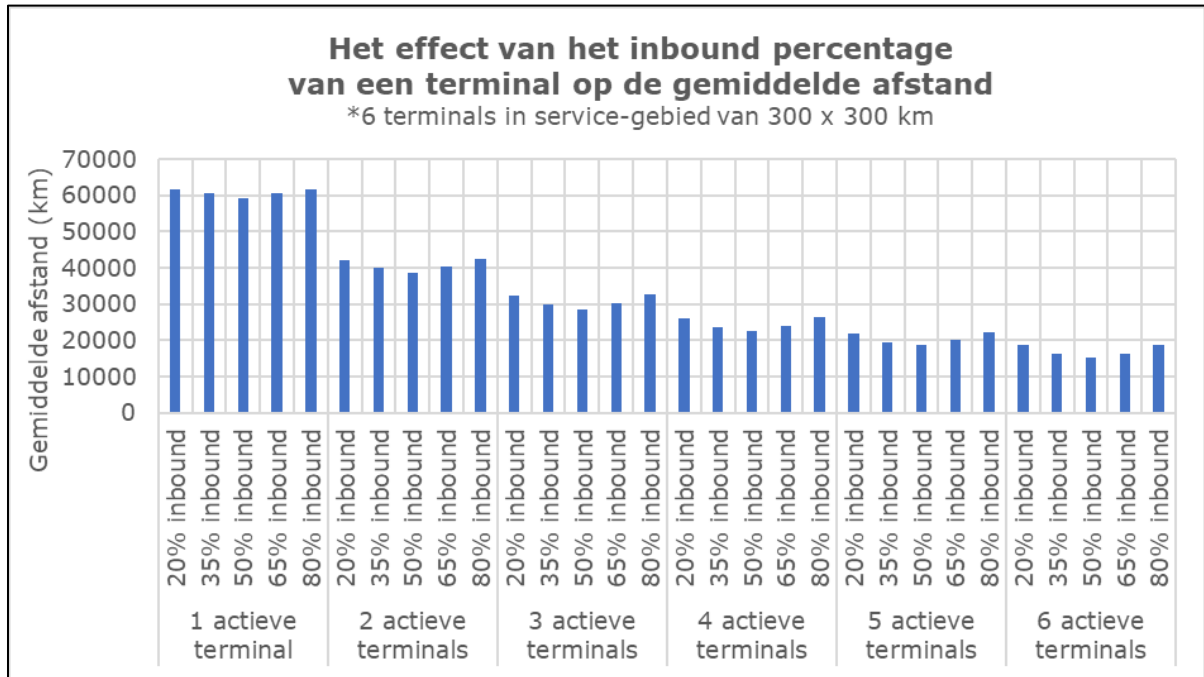
Service-gebied van 150 x 150 kilometer met zes aanwezige terminals



Service-gebied van 300 x 300 kilometer met vier aanwezige terminals



Service-gebied van 300 x 300 kilometer met zes aanwezige terminals



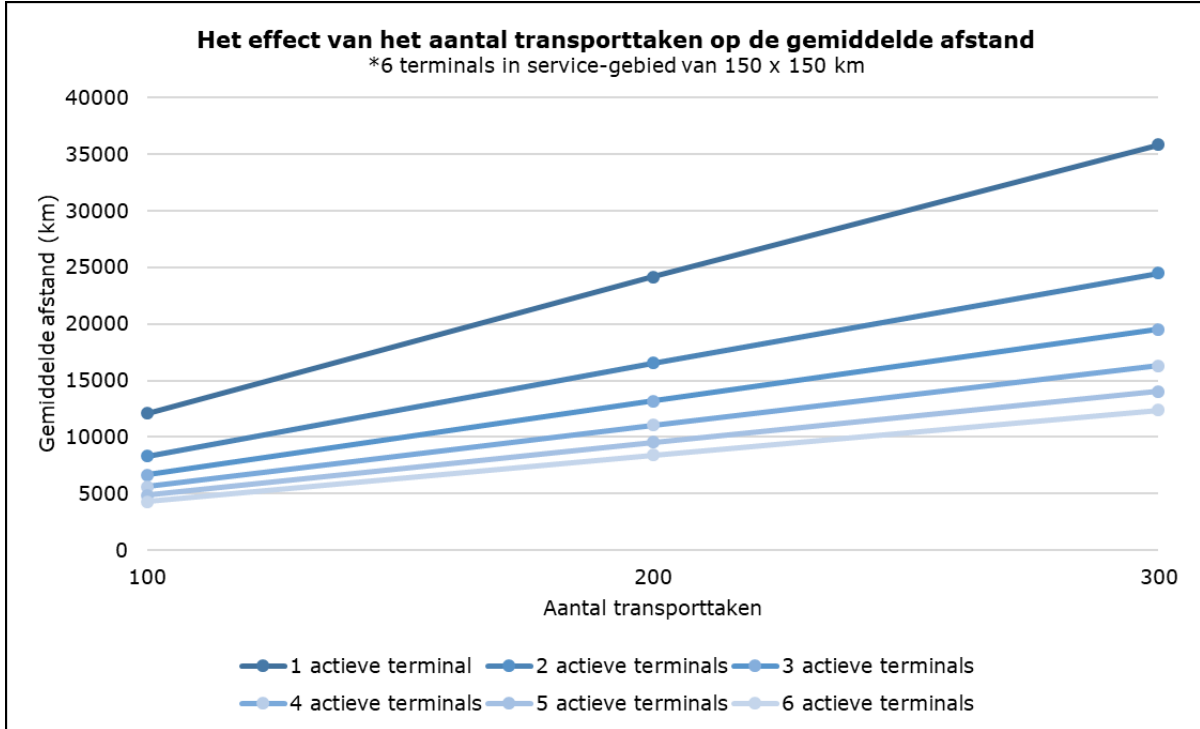
**Bijlage 2: Toename van de gemiddelde afstand ten opzichte van een evenwichtige verdeling van transporttaken**

Service-gebied van 300 x 300 kilometer met zes aanwezige terminals

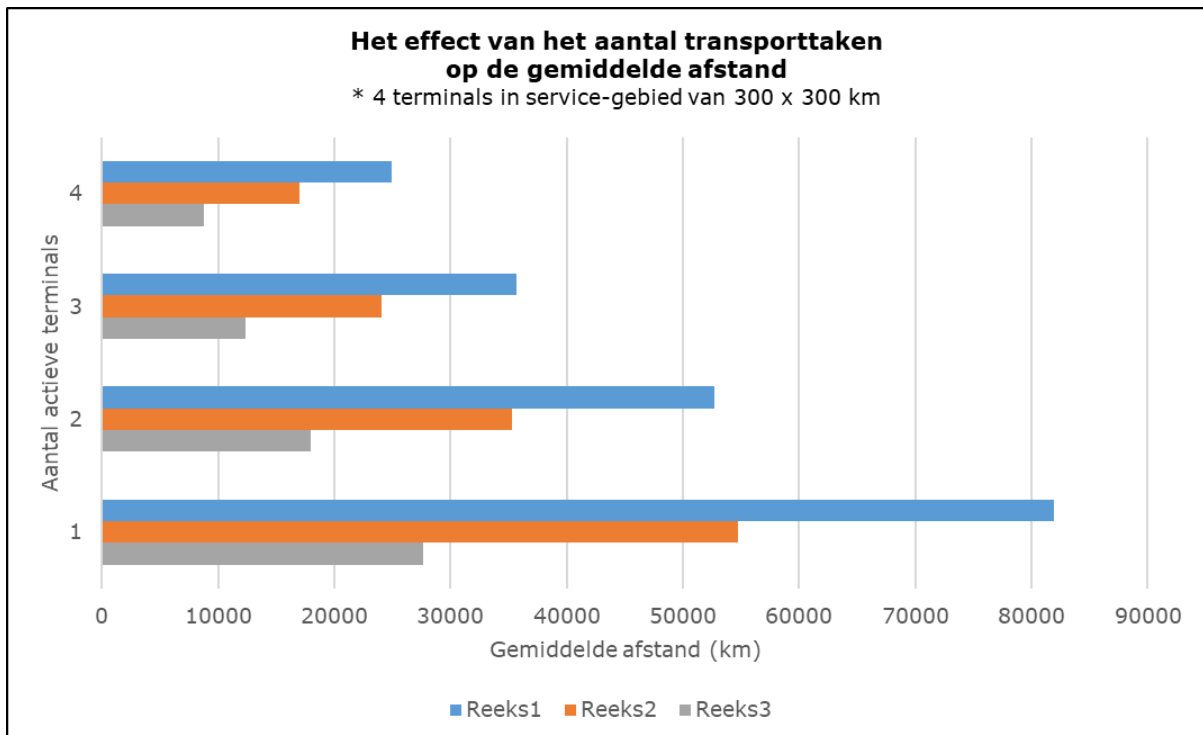
Toename van gemiddelde afstand t.o.v. 50% inbound (in %)		Aantal actieve terminals						TOTAAL GEM.
		1	2	3	4	5	6	
Inbound %	20%	4,23%	9,34%	13,38%	16,22%	17,27%	24,55%	<b>14,17%</b>
	80%	4,36%	9,80%	14,40%	17,76%	19,47%	24,59%	<b>15,06%</b>

### Bijlage 3: Het effect van het aantal transporttaken op de gemiddelde afstand

Service-gebied van 150 x 150 km met zes aanwezige terminals



Service-gebied van 300 x 300 kilometer met vier aanwezige terminals



**Bijlage 4: Effect van het aantal transporttaken (n) op de gemiddelde afstand per inbound percentage**

Service-gebied van 150 x 150 kilometer met zes aanwezige terminals

**6 terminals in service-gebied van 150 x 150 km**

Inbound %	n(0) = 100	n(1) = 200	n(2) = 300	$\Delta n(1,0)$	$\Delta n(2,0)$	$\Delta n(2,1)$	
<b>1 actieve terminal</b>	<b>20%</b>	13350,12	26963,23	40408,14	101,97%	202,68%	49,86%
	<b>35%</b>	11450,66	23303,90	34196,02	103,52%	198,64%	46,74%
	<b>50%</b>	10717,10	20290,06	29891,19	89,32%	178,91%	47,32%
	<b>65%</b>	11478,17	22860,76	34317,71	99,17%	198,98%	50,12%
	<b>80%</b>	13438,33	27283,66	40426,77	103,03%	200,83%	48,17%
<b>2 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	9341,31	18727,55	28183,05	100,48%	201,70%	50,49%
	<b>35%</b>	7799,05	15857,22	23092,50	103,32%	196,09%	45,63%
	<b>50%</b>	7219,36	13559,40	19830,85	87,82%	174,69%	46,25%
	<b>65%</b>	7841,62	15520,80	23163,28	97,93%	195,39%	49,24%
	<b>80%</b>	9414,24	19064,50	28251,89	102,51%	200,10%	48,19%
<b>3 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	7422,58	14838,15	22350,94	99,91%	201,12%	50,63%
	<b>35%</b>	6230,67	12671,72	18317,94	103,38%	194,00%	44,56%
	<b>50%</b>	5860,80	10935,19	15931,64	86,58%	171,83%	45,69%
	<b>65%</b>	6251,91	12394,45	18428,28	98,25%	194,76%	48,68%
	<b>80%</b>	7522,63	15134,74	22454,98	101,19%	198,50%	48,37%
<b>4 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	6183,64	12316,51	18571,23	99,18%	200,33%	50,78%
	<b>35%</b>	5239,07	10639,80	15291,23	103,09%	191,87%	43,72%
	<b>50%</b>	5005,17	9301,20	13496,59	85,83%	169,65%	45,11%
	<b>65%</b>	5249,92	10410,18	15432,06	98,29%	193,95%	48,24%
	<b>80%</b>	6294,28	12590,53	18688,22	100,03%	196,91%	48,43%
<b>5 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	5300,65	10517,68	15876,14	98,42%	199,51%	50,95%
	<b>35%</b>	4535,23	9187,78	13142,44	102,59%	189,79%	43,04%
	<b>50%</b>	4387,88	8134,73	11748,52	85,39%	167,75%	44,42%
	<b>65%</b>	4538,47	8995,72	13303,06	98,21%	193,12%	47,88%
	<b>80%</b>	5414,86	10778,56	16003,31	99,06%	195,54%	48,47%
<b>6 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	4657,77	9212,27	13914,30	97,78%	198,73%	51,04%
	<b>35%</b>	4026,23	8121,80	11590,87	101,72%	187,88%	42,71%
	<b>50%</b>	3934,37	7289,57	10463,57	85,28%	165,95%	43,54%
	<b>65%</b>	4021,67	7965,40	11758,77	98,06%	192,39%	47,62%
	<b>80%</b>	4769,77	9460,90	14054,43	98,35%	194,66%	48,55%
<b>Gemiddelde toename bij 20%</b>				<b>99,62%</b>	<b>200,68%</b>	<b>50,63%</b>	
<b>Gemiddelde toename bij 50%</b>				<b>86,70%</b>	<b>171,46%</b>	<b>45,39%</b>	
<b>Gemiddelde toename bij 80%</b>				<b>100,69%</b>	<b>197,76%</b>	<b>48,36%</b>	



Service-gebied van 300 x 300 km met vier aanwezige terminals

**4 terminals in service-gebied van 300 x 300 km**

	<b>Inbound %</b>	<b>n(0) = 100</b>	<b>n(1) = 200</b>	<b>n(2) = 300</b>	<b><math>\Delta n (1,0)</math></b>	<b><math>\Delta n (2,0)</math></b>	<b><math>\Delta n (2,1)</math></b>
<b>1 actieve terminal</b>	<b>20%</b>	28043,10	55960,03	83793,46	99,55%	198,80%	49,74%
	<b>35%</b>	27421,85	54398,17	81461,78	98,38%	197,07%	49,75%
	<b>50%</b>	27069,67	52906,05	79386,32	95,44%	193,27%	50,05%
	<b>65%</b>	27564,20	54346,15	81107,24	97,16%	194,25%	49,24%
	<b>80%</b>	28123,83	56084,02	84090,89	99,42%	199,00%	49,94%
<b>2 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	18649,81	37168,34	55401,33	99,30%	197,06%	49,06%
	<b>35%</b>	17656,78	34686,48	51684,23	96,45%	192,72%	49,00%
	<b>50%</b>	17119,76	32839,77	49074,17	91,82%	186,65%	49,44%
	<b>65%</b>	17848,73	34751,56	51639,41	94,70%	189,32%	48,60%
	<b>80%</b>	18689,31	37292,43	55742,56	99,54%	198,26%	49,47%
<b>3 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	13105,17	26050,68	38663,60	98,78%	195,03%	48,42%
	<b>35%</b>	12005,38	23259,09	34372,97	93,74%	186,31%	47,78%
	<b>50%</b>	11403,61	21461,36	31724,13	88,20%	178,19%	47,82%
	<b>65%</b>	12190,16	23371,11	34558,36	91,72%	183,49%	47,87%
	<b>80%</b>	13079,88	26181,69	38960,51	100,17%	197,87%	48,81%
<b>4 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	9483,83	18888,03	27975,87	99,16%	194,98%	48,11%
	<b>35%</b>	8538,77	16174,50	23600,40	89,42%	176,39%	45,91%
	<b>50%</b>	7908,83	14753,77	21213,93	86,55%	168,23%	43,79%
	<b>65%</b>	8672,17	16229,70	23967,33	87,15%	176,37%	47,68%
	<b>80%</b>	9405,20	18889,73	27954,70	100,84%	197,23%	47,99%
		<b>Gemiddelde toename bij 20%</b>			<b>99,20%</b>	<b>196,47%</b>	<b>48,83%</b>
		<b>Gemiddelde toename bij 50%</b>			<b>90,50%</b>	<b>181,59%</b>	<b>47,77%</b>
		<b>Gemiddelde toename bij 80%</b>			<b>99,99%</b>	<b>198,09%</b>	<b>49,05%</b>

Service-gebied van 300 x 300 km met zes aanwezige terminals

**6 terminals in service-gebied van 300 x 300 km**

<i>Inbound %</i>	<i>n(0) = 100</i>	<i>n(1) = 200</i>	<i>n(2) = 300</i>	<i>Δn (1,0)</i>	<i>Δn (2,0)</i>	<i>Δn (2,1)</i>	
<b>1 actieve terminal</b>	<b>20%</b>	31249,83	61112,73	92629,59	95,56%	196,42%	51,57%
	<b>35%</b>	30279,04	61106,68	90039,64	101,81%	197,37%	47,35%
	<b>50%</b>	29895,02	58901,53	88682,47	97,03%	196,65%	50,56%
	<b>65%</b>	30540,11	61513,48	89973,76	101,42%	194,61%	46,27%
	<b>80%</b>	31333,68	61371,28	92512,32	95,86%	195,25%	50,74%
<b>2 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	21494,63	41878,05	63501,60	94,83%	195,43%	51,63%
	<b>35%</b>	20262,81	40687,02	59530,30	100,80%	193,79%	46,31%
	<b>50%</b>	19847,08	38490,03	57700,88	93,93%	190,73%	49,91%
	<b>65%</b>	20488,29	41259,52	59650,37	101,38%	191,14%	44,57%
	<b>80%</b>	21693,84	42069,47	63651,44	93,92%	193,41%	51,30%
<b>3 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	16535,35	32046,95	48617,76	93,81%	194,02%	51,71%
	<b>35%</b>	15211,27	30353,79	44188,53	99,55%	190,50%	45,58%
	<b>50%</b>	14870,00	28463,16	42395,24	91,41%	185,11%	48,95%
	<b>65%</b>	15468,16	31029,13	44445,46	100,60%	187,34%	43,24%
	<b>80%</b>	16797,49	32262,45	49009,36	92,07%	191,77%	51,91%
<b>4 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	13418,70	25812,56	39237,30	92,36%	192,41%	52,01%
	<b>35%</b>	12085,21	23997,46	34828,23	98,57%	188,19%	45,13%
	<b>50%</b>	11830,75	22485,43	33200,38	90,06%	180,63%	47,65%
	<b>65%</b>	12368,24	24688,14	35143,11	99,61%	184,14%	42,35%
	<b>80%</b>	13673,00	26110,99	39723,29	90,97%	190,52%	52,13%
<b>5 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	11336,34	21572,44	32897,99	90,29%	190,20%	52,50%
	<b>35%</b>	10068,09	19896,31	28789,98	97,62%	185,95%	44,70%
	<b>50%</b>	9911,69	18769,80	27434,28	89,37%	176,79%	46,16%
	<b>65%</b>	10359,15	20592,90	29191,02	98,79%	181,79%	41,75%
	<b>80%</b>	11557,07	21977,05	33509,06	90,16%	189,94%	52,47%
<b>6 actieve terminals</b>	<b>20%</b>	9777,67	18369,40	28214,37	87,87%	188,56%	53,59%
	<b>35%</b>	8316,17	16414,93	23845,63	97,39%	186,74%	45,27%
	<b>50%</b>	8188,17	15153,07	21910,33	85,06%	167,59%	44,59%
	<b>65%</b>	8461,77	16678,70	23454,03	97,11%	177,18%	40,62%
	<b>80%</b>	9677,53	18449,17	28252,53	90,64%	191,94%	53,14%
<b>Gemiddelde toename bij 20%</b>				<b>92,45%</b>	<b>192,84%</b>	<b>52,17%</b>	
<b>Gemiddelde toename bij 50%</b>				<b>91,14%</b>	<b>182,91%</b>	<b>47,97%</b>	
<b>Gemiddelde toename bij 80%</b>				<b>92,27%</b>	<b>192,14%</b>	<b>51,95%</b>	

**Bijlage 5: Effect van aantal actieve terminals en aantal transporttaken op gemiddelde afstand**

Service-gebied van 150 x 150 km met vier aanwezige terminals

<b>Aantal actieve terminals</b>	<b>100 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>200 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>300 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>
<b>1</b>	10611,02		20661,29		31065,80	
<b>2</b>	7457,41	-29,72%	14424,58	-30,19%	21637,94	-30,35%
<b>3</b>	5651,71	-24,21%	10842,24	-24,83%	16189,84	-25,18%
<b>4</b>	4401,83	-22,11%	8370,78	-22,79%	12402,07	-23,40%

(1)\*: deze kolommen weergeven de procentuele daling van de gemiddelde afstand per extra actieve terminal

Service-gebied van 150 x 150 km met zes aanwezige terminals

<b>Aantal actieve terminals</b>	<b>100 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>200 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>300 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>
<b>1</b>	12086,88		24140,32		35847,96	
<b>2</b>	8323,12	-31,14%	16545,90	-31,46%	24504,32	-31,64%
<b>3</b>	6657,72	-20,01%	13194,85	-20,25%	19496,76	-20,44%
<b>4</b>	5594,42	-15,97%	11051,64	-16,24%	16295,87	-16,42%
<b>5</b>	4835,42	-13,57%	9522,89	-13,83%	14014,69	-14,00%
<b>6</b>	4281,96	-11,45%	8409,99	-11,69%	12356,39	-11,83%

(1)\*: deze kolommen weergeven de procentuele daling van de gemiddelde afstand per extra actieve terminal

Service-gebied van 300 x 300 km met vier aanwezige terminals

<b>Aantal actieve terminals</b>	<b>100 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>200 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>	<b>300 transport-taken</b>	<b>Δ extra terminal (1)*</b>
<b>1</b>	27644,53		54738,88		81967,94	
<b>2</b>	17992,88	-34,91%	35347,72	-35,42%	52708,34	-35,70%
<b>3</b>	12356,84	-31,32%	24064,79	-31,92%	35655,91	-32,35%
<b>4</b>	8801,76	-28,77%	16987,15	-29,41%	24942,45	-30,05%

(1)\*: deze kolommen weergeven de procentuele daling van de gemiddelde afstand per extra actieve terminal