



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Less-than-truckload transport in een synchromodale setting

Marilien Smolders

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

Prof. dr. An CARIS

BEGELEIDER :

De heer Jasper PAESEN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2021
2022



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Less-than-truckload transport in een synchronodale setting

Marilien Smolders

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

Prof. dr. An CARIS

BEGELEIDER :

De heer Jasper PAESEN

Voorwoord

In het kader van het behalen van het diploma Master handelsingenieur met als optie operationeel management en logistiek aan de universiteit Hasselt te Diepenbeek werd volgende masterproef gerealiseerd. Deze masterproef omvat een literatuurstudie over het toenemende aantal less-than-truckload ladingen binnen een synchromodale setting, waarbij de kennis en ervaringen die gedurende de gehele opleiding zijn opgedaan als basis dienen.

Graag wil ik van dit moment gebruik maken om enkele mensen te bedanken. Mijn dank gaat uit naar mijn promotor, An Caris, en begeleider, Jasper Paesen, voor de goede opvolging en feedback tijdens het uitwerken van deze masterproef. Hun goede raad, interesse en kritische bedenkingen hebben gezorgd voor dit mooie eindresultaat.

Verder wil ik mijn dank uitdrukken aan mijn ouders voor hun onvoorwaardelijke steun en goede raad, alsook de kans en het vertrouwen om deze opleiding tot een goed einde te brengen. Tot slot zet ik ook graag mijn vriend even in de bloemetjes voor zijn luisterend oor en de motiverende woorden, zowel tijdens de moeilijke momenten als de leuke momenten.

Marilien Smolders

Samenvatting

1. Inleiding

Business-to-consumer e-commerce verwijst naar een online transactie tussen een bedrijf en consument. Ook kan het betrekking hebben op een betaalde online dienst dat zich rechtstreeks richt op consumenten. Het aantal op de markt gebrachte elektrische en elektronische apparatuur is enorm toegenomen en neemt nog steeds toe, wat het aantal potentiële gebruikers van B2C e-commerce heeft vergroot. Zo zouden in 2020 meer dan 7 op 10 Belgen een online aankoop gedaan hebben. Door het gemak van e-commerce is een trend ontstaan om steeds frequenter, maar in kleinere hoeveelheden te bestellen. Deze stijging in het aantal bestellingen legt druk op het transportnetwerk, waardoor bedrijven zoveel mogelijk aan de vraag proberen te beantwoorden door hun supply chain zo flexibel mogelijk te maken. Dit heeft als gevolg dat meer en meer goederen worden uitgevoerd via less-than-truckload. Less-than-truckload betekent dat de lading op zichzelf niet de volledige capaciteit van de truck benut en dat er dus tot gevolg inefficiënt wordt getransporteerd indien de lading op zichzelf getransporteerd wordt (Linderoth, 2020). Meer pakketjes betekenen meer leveringen wat een negatief effect heeft op het milieu en andere externe factoren. Om de druk op, en de impact van het transportnetwerk te verminderen als gevolg van e-commerce, de kortere leveringsorders en hogere klantverwachtingen, wordt er gezocht naar innovatieve en creatieve oplossingen. Een gegeven waar op ingespeeld kan worden, zijn de verschillende combinaties van transportmodi, meer bepaald op welke wijze goederen doorheen de supply chain bewegen.

Nog maar weinig onderzoek werd uitgevoerd naar less-than-truckload in een synchromodale setting en daarom werd de volgende onderzoeksvraag opgesteld: Wat zijn opportuniteiten en uitdagingen van synchromodaal transport binnen de context van less-than-truckload transport? Deze vraag wordt beantwoord d.m.v. een literatuurstudie.

2. Literatuurstudie

In het eerste deel van de literatuurstudie wordt een antwoord gezocht op de eerste deelvraag, namelijk "Wat zijn de belangrijkste combinaties van transportmodi en hun kenmerken?". De wijze van transporteren kan opgedeeld worden in drie verschillende combinaties: het intermodaal transport, synchromodaal transport en het physical internet. Al deze combinaties behoren tot de overkoepelende term van multimodaliteit omdat ze allen beroep doen op meer dan één transportmodus. Intermodaal transport wordt vaak gezien als de voorloper van het synchromodaal transport. De grote evolutie die hier plaatsvindt, is de optie tot amodale boeking, waarbij de logistieke dienstverleners zelf de modi voor transport kunnen bepalen. Op basis van real-time informatie kan hierdoor op elk moment tijdens het transport bepaald worden welke transportmodus en route op dat moment, voor die lading en die locatie het meest geschikt is. Het physical internet gaat dan weer hand in hand met synchromodaliteit. Eén van de voorwaarden voor synchromodaal transport is een geïntegreerd netwerk, het physical internet gaat verder dan dat. De eerste formele definitie van de PI werd geïntroduceerd door Montreuil, Meller en Ballot (2013), die het beschrijven als een open wereldwijd logistiek systeem gebaseerd op de fysieke, digitale en operationele interconnectiviteit.

Het tweede deel van de literatuurstudie beschrijft het huidige onderzoek naar less-than-truckload. Vaak is een bedrijf niet bereid om te wachten tot een volledige vrachtwagen gevuld is om zo frequenter te leveren en aan nieuwe klantenvereisten te voldoen. In dat geval spreken we van less-than-truckload waarbij de lading van een bedrijf niet de volledige capaciteit van de vrachtwagen benut en bijgevolg wordt gecombineerd met vracht van andere bedrijven. De belangrijkste uitdagingen van dit soort ladingen kunnen opgedeeld worden in drie categorieën; de samenwerking en het vertrouwen dat nodig is tussen de verschillende partijen binnen de supply chain; het plannen en de routes die nodig zijn bij de consolidatie van less-than-truckload ladingen; en het alloceren van de winsten en kosten onder de verschillende partijen. Omdat meerdere afzenders hun ladingen gaan combineren in een vracht, worden er voordelen opgedaan die ze zonder deze samenwerking niet ervaren. Als gevolg van samenwerkingen en de lagere transportkosten kan de prijs voor klanten bijvoorbeeld lager gezet worden. Ook de totale transittijd tot bij de klant kan geminimaliseerd worden door het gebruik van efficiënte routes doordat extra middelen en infrastructuur beschikbaar worden gesteld in de samenwerking, waardoor de servicekwaliteit stijgt. Het juist verdelen van de voordelen en de gezamenlijke operationele kosten, zorgt echter vaak voor fricties omdat er geen éénduidige methode is en niet alle partijen evenveel bijdragen of ladingen van dezelfde grootte hebben.

In een volgend hoofdstuk wordt op zoek gegaan naar de link tussen het eerste en het tweede deel van de literatuurstudie waar de uitdagingen van synchromodaal transport worden geschetst en een antwoord wordt geformuleerd op de vraag welke opportuniteiten en uitdagingen synchromodaal transport kent in een less-than-truckload context. Naast de drie uitdagingen van less-than-truckload die terugkomen bij synchromodaliteit kent synchromodaal transport nog twee extra uitdagingen. Een inclusief wettelijk en politiek kader vormen de basis voor de succesfactoren van synchromodaal transport. Voor een goed functionerend synchromodaal netwerk is een geharmoniseerde regelgeving onmisbaar. Er gelden namelijk vaak verschillende politieke contexten in verschillende landen en zelfs tussen transportmodi onderling. Een tweede uitdaging wordt gevormd omtrent de beslissingen over de infrastructuur van transport, de basis van een goede planning en routing. Het gaat over beslissingen die te maken hebben met het ontwerp van het fysieke infrastructuurnetwerk: de locatie en het aantal terminals, type en hoeveelheid apparatuur, capaciteit van lijnen, de klantzonen die bediend zullen worden enzovoort.

Een tweede sectie gaat over de link tussen de twee concepten. De belangrijkste voordelen van synchromodaliteit bij LTL-ladingen zijn de betere bezetting van de verschillende middelen waardoor er schaalvoordelen kunnen ontstaan, de modale shift die plaatsvindt naar meer duurzame transportmodi en de real-time flexibiliteit waar partners in de supply chain mee aan de slag kunnen. De verschillende relaties die ontstaan tussen de verschillende partners in de supply chain zorgen er wel voor dat er een overvloed is aan ongestructureerde en ongestandaardiseerd data. Ook een gebrek aan juiste mathematische oplossingsmethoden voor de verdeling van de kosten en winsten binnen dergelijke relaties treden op door de shift van *mode-based* naar *service-based*. Door de toepassing van amodale boeking kunnen afzenders niet langer transportmodi vastzetten aan een bepaalde prijs (*mode-based*). Ze "bestellen" dus eerder een service waarbij ze hun leveringstermijn, prijsrange en verwachte kwaliteitseisen kunnen aangeven. Op basis van deze vereisten worden LTL-ladingen samengezet. Een andere belangrijke juridische kwestie is die van de aansprakelijkheid voor

het transport, met name voor eventuele vertraging, verlies of schade, die niet altijd duidelijk is wanneer de modus spontaan wordt gewijzigd. Bij samenwerkingen waarbij er meerdere afzenders en logistieke dienstverleners toetreden, is het niet altijd duidelijk wie aansprakelijk wordt gesteld bij het optreden van onvoorziene kosten door oorzaken zoals vertragingen, schade of verlies aan de goederen. Door de combinatie van less-than-truckload en synchronodaliteit treedt aansprakelijkheid op in twee richtingen, waardoor er nood is aan een éénduidige set van regels.

Deze literatuurstudie geeft een duidelijk overzicht van de belangrijkste voordelen die voortvloeien bij de overstap naar synchronodaliteit wanneer bedrijven niet enkel full-truckloads transporteren. Verder wordt ook uitgelicht op welke uitdagingen en problemen ze kunnen stoten en welke denkrichting gevolgd kan worden om de uitdagingen aan te pakken.

3. Kritische bemerkingen

Het onderzoek dat werd uitgevoerd kent echter ook enkele beperkingen. De literatuur die nu bestaat, is hoofdzakelijk gefocust op less-than-truckload ladingen binnen unimodaal wegtransport waarbij er slechts gebruik wordt gemaakt van één transportmodus. De uitdagingen en opportuniteiten van less-than-truckload binnen een synchronodale setting zijn dus niet gebaseerd op letterlijke bevindingen in de literatuur. Er worden binnen deze studie zelf logische linken gelegd tussen de literatuur van synchronodaal transport enerzijds en de literatuur van less-than-truckload anderzijds. Met de vooropgestelde doelen naar een duurzamer transportnetwerk is het van belang om dit onderzoek verder te zetten omdat bij synchronodaal transport gebruik wordt gemaakt van meer duurzame transportmodi. Bij de beschreven uitdagingen wordt er in dit onderzoek ook nog onvoldoende gefocust op de mogelijke oplossingen die kunnen dienen om de uitdagingen weg te werken.

Verder is dit onderzoek enkel gebaseerd op bestaande literatuur en ontbreekt dus een empirisch gedeelte. De data die nu reeds bestaat, is onvoldoende specifiek om correcte analyses te maken. Bij de beschikbaarheid van voldoende literatuur over less-than-truckload ladingen binnen een synchronodale setting zou het dus waardevol kunnen zijn om real-life cases uit te voeren en conclusies te onttrekken uit deze cases.

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1: ONDERZOEKSPAN	11
1.1. PRAKTIJKRELEVANTIE	11
1.2. ONDERZOEKSVRAAG	14
1.3. ONDERZOEKSAANPAK	15
1.3.1. <i>Zoektermen</i>	16
1.3.2. <i>Databases</i>	16
1.3.3. <i>Inclusie- en exclusiecriteria</i>	16
1.3.4. <i>Afbakening van de tijdsperiode</i>	16
1.3.5. <i>Identificatie van bijkomende literatuur</i>	17
HOOFDSTUK 2: DE VERSCHILLENDE COMBINATIES VAN TRANSPORTMODI	19
2.1. INTERMODAAL TRANSPORT	19
2.1.1. <i>Verskillende combinaties van transportmodi</i>	21
2.1.2. <i>Voor- en nadelen</i>	22
2.1.3. <i>Containerisatie</i>	24
2.1.4. <i>Modale keuze</i>	24
2.1.5. <i>Kenmerken</i>	26
2.2. SYNCHROMODAAL TRANSPORT	27
2.2.1. <i>Amodaal boeken</i>	29
2.2.2. <i>Horizontale integratie</i>	29
2.2.3. <i>Kenmerken</i>	30
2.3. PHYSICAL INTERNET.....	31
2.4. CONCLUSIE.....	34
HOOFDSTUK 3: LESS-THAN-TRUCKLOAD	37
3.1. HET CONCEPT LESS-THAN-TRUCKLOAD	37
3.2. UITDAGINGEN VAN LESS-THAN-TRUCKLOAD	37
3.2.1. <i>Samenwerking en vertrouwen</i>	37
3.2.2. <i>Planning en routing</i>	39
3.2.3. <i>Kosten-/winstallocatie</i>	40
3.3. CONCLUSIE.....	41
HOOFDSTUK 4: SYNCHROMODAAL TRANSPORT IN EEN LESS-THAN-TRUCKLOAD CONTEXT	43
4.1. UITDAGINGEN VAN SYNCHROMODAAL TRANSPORT	43
4.1.1. <i>Samenwerking/vertrouwen</i>	44
4.1.2. <i>Planning/Routing</i>	45
4.1.3. <i>Regelgevingen</i>	47

4.1.4. <i>Infrastructuur</i>	48
4.1.5. <i>Kosten-/winstallocatie</i>	49
4.2. DE RELATIE TUSSEN SYNCHROMODALITEIT EN LESS-THAN-TRUCKLOAD TRANSPORT	49
4.2.1. <i>Een uitdagende relatie</i>	49
4.2.2. <i>Een ondersteunende relatie</i>	51
HOOFDSTUK 5: CONCLUSIE	53
REFERENTIES	57
WETENSCHAPPELIJKE BRONNEN	57
ONLINE BRONNEN	60

Lijst van figuren

Figuur 1: Percentage van de Belgische bevolking (met internettoegang) die online aankopen doet (Comeos, 2020).....	11
Figuur 2: Opbrengsten e-commerce per regio in 2020 (in miljarden) (Cramer-Flood, 2020).....	12
Figuur 3: Een visuele presentatie van unimodaal transport en intermodaal transport (Ambra, 2020)	21
Figuur 4: Intermodaal en synchromodaal transport (ECT, 2011)	28
Figuur 5: Totale CO ₂ emissies per transportmodus (Zhang & Pel, 2016).....	29
Figuur 6: Totaal afgelegde afstanden per transportmodus (Zhang & Pel, 2016).....	29
Figuur 7: Visuele representatie van verticale en horizontale integratie (Behdani et al., 2014)	30
Figuur 8: De doelen opgesteld in ALICE om te komen tot 0% emissie in 2050 (Ambra et al., 2019)	34
Figuur 9: Less-than-truckload network (Özener, 2019).....	40

Lijst van tabellen

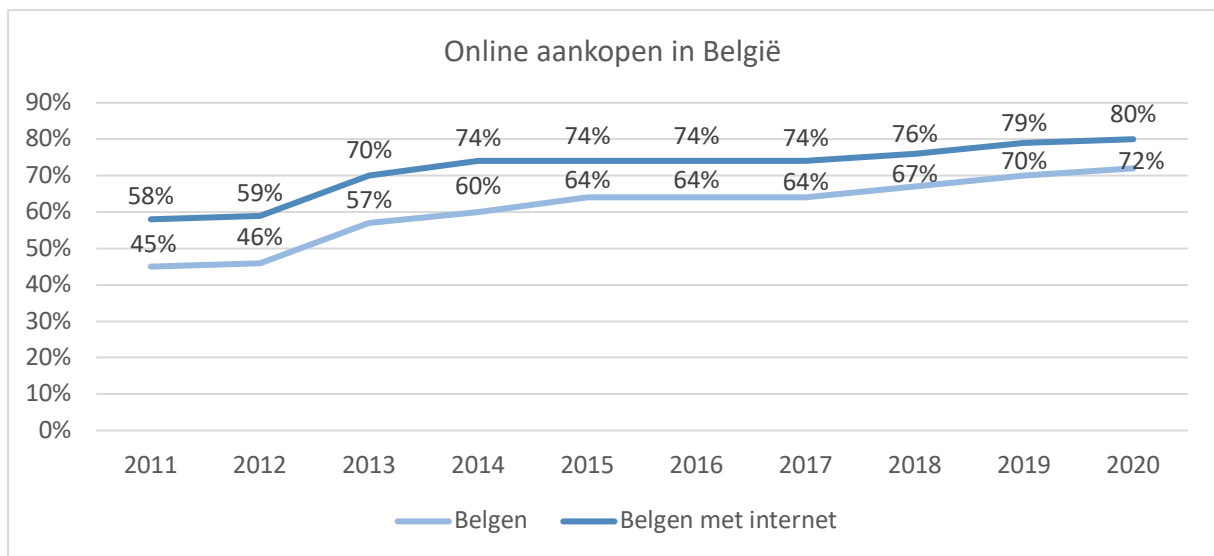
Tabel 1: De verschillende definities van intermodaal transport.....	20
Tabel 2: Voordelen van intermodaal transport per auteur	23
Tabel 3: Nadelen van intermodaal transport per auteur	24
Tabel 4: Factoren die van invloed zijn op de beslissing bij het kiezen van een transportmodus.....	25
Tabel 5: Kenmerken intermodaal transport per auteur.....	26
Tabel 6: : Kenmerken synchromodaal transport per auteur	31
Tabel 7: Oorzaken van onduurzaamheid en het effect op de drie niveaus (economisch, milieu, sociaal) (Montreuil, 2011)	33
Tabel 8: Potentiële uitdagingen van synchromodaal transport in de literatuur	43

Hoofdstuk 1: Onderzoeksplan

1.1. Praktijkrelevantie

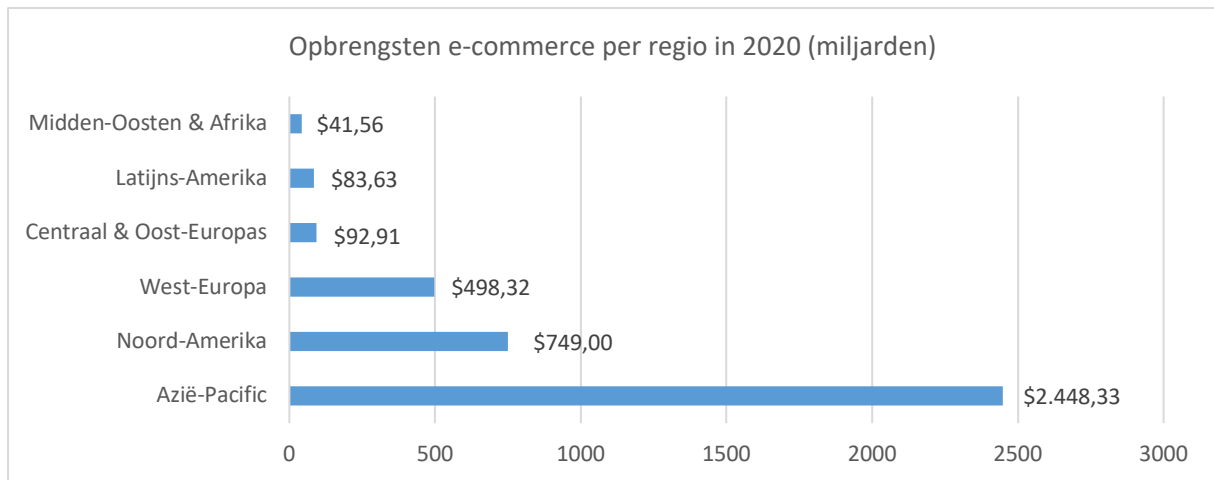
De laatste decennia onderging de samenleving grondige veranderingen, zoals de transformatie naar een meer en meer geglobaliseerde wereld. Sinds de start van de corona pandemie in 2020 zijn de evoluties die we de laatste jaren hebben ondergaan enkel nog maar een versnelling hoger gegaan (Smith, 2021).

Deze nieuwe en digitale vorm van samenleven brengt nieuwe uitdagingen en opportuniteiten met zich mee. Dit kan bijvoorbeeld worden opgemerkt binnen de e-commerce. E-commerce, ook wel bekend als online retail, wordt gezien als één van de snelst groeiende sectoren sinds het begin van de corona pandemie (Smith, 2021). Sinds het sluiten van alle niet-essentiële winkels in België, richt de Belg zich meer en meer op online platformen zoals ondermeer een Bol.com of Coolblue (Van Oost & Vanacker, 2020). In een recent onderzoek uitgevoerd in België door Comeos werd gevonden dat meer dan 7 op 10 Belgen in 2020 online aankopen gedaan hebben. Deze cijfers lopen op tot 80% wanneer enkel wordt gekeken naar de Belgische bevolking die over internettoegang beschikt (figuur 1) (Comeos, 2020).



Figuur 1: Percentage van de Belgische bevolking (met internettoegang) die online aankopen doet (Comeos, 2020)

In 2020 kwamen er in België maar liefst 20 000 webshops bij, wat voor een totaal van 48 000 online winkels zorgt. De totale omzet van e-commerce in België bedroeg 8,8 miljard euro wat 7,5 procent meer was dan in 2019 (Evenepoel, 2021). Werelwijd bedroeg deze omzet maar liefst 4 000 miljard US-dollar (figuur 2) (Cramer-Flood, 2020). Er rekening mee houdende dat twee grote online sectoren, zoals de reis- en evenementensector, niet operatief waren omwille van de pandemie, wordt er gesproken van een positieve groei, met 107 miljoen transacties in 2020 (Evenepoel, 2021).



Figuur 2: Opbrengsten e-commerce per regio in 2020 (in miljarden) (Cramer-Flood, 2020)

Alles wordt tegenwoordig online besteld, van materiaal om van thuis uit te werken, speelgoed om de verveling tegen te gaan tot boodschappen zoals toiletpapier om aan de hamsterdrukte in de supermarkt te ontsnappen; alles is bestelbaar en wordt tot aan de deur geleverd (Van Oost & Vanacker, 2020). Uit onderzoek blijkt dat de voornaamste redenen om online te kopen de prijs, het gemak, het brede aanbod en de snelle leveringsperiode zijn. De helft van de ondervraagden gaf namelijk aan online te kopen omdat het gemakkelijker is. 42%, 30% en 25% van de ondervraagden respectievelijk zeggen dat een betere prijs, een breder assortiment en een snelle levering hen motiveert om online te kopen (Comeos, 2020).

De sterke stijging in de verkoop binnen de e-commerce heeft gezorgd voor nieuwe uitdagingen, zoals een grotere vraag naar transport (Linderoth, 2020). In de logistieke sector wordt aangegeven dat 25 procent tot 30 procent van de omzet afkomstig is van e-commerce (Smith, 2021). "Door de opkomst van e-commerce groeit het aantal kleine orders en is het aantal vrachstromen als gevolg daarvan sterk toegenomen. Veel van de orders die online worden besteld, moeten thuis bij de klant worden afgeleverd. Dit leidt in veel gevallen tot meerdere afleverpogingen" (Woensel, 2017). Dit zorgt voor het nodige aantal aanpassingen in de logistieke supply chain. Enkele voorbeelden van veranderingen zijn snellere leveringen, meer flexibiliteit en gefragmenteerde leveringen door de optie van thuisbezorging. Dit alles heeft tot gevolg dat steeds kleinere volumes worden geleverd, de routeplanning inefficiënt verloopt en dat er sprake is van mislukte leveringen (Linderoth, 2020).

Al deze veranderingen zetten ook het transportnetwerk in zijn geheel onder druk. Bedrijven proberen zoveel mogelijk vraag te beantwoorden door hun supply chain zo flexibel mogelijk te maken vanwege veranderingen in het klantengedrag zoals bijvoorbeeld het bestellen van kleinere hoeveelheden. Dit heeft als gevolg dat meer en meer goederen worden uitgevoerd via less-than-truckload (Smith, 2021). Less-than-truckload betekent dat de lading op zichzelf niet de volledige capaciteit van de truck benut en tot gevolg inefficiënt wordt getransporteerd indien de lading op zichzelf getransporteerd wordt (Linderoth, 2020).

Ook de trade-off tussen voorraadkosten en transportkosten heeft een invloed op het aantal less-than-truckload ladingen. Wanneer beslissingen worden gemaakt over de distributie worden vaak twee types in rekening genomen: full-truckload en less-than-truckload. De keuze tussen deze twee types wordt vaak gebaseerd op basis van de voorraad- en transportkosten, omdat de hoeveelheid en de frequentie belangrijke factoren zijn in het distributieproces. Het vervoer van kleinere hoeveelheden met een hogere frequentie leidt meestal tot lagere voorraadkosten, maar kan extra transportkosten met zich meebrengen. Aan de andere kant kan het transport van grotere hoeveelheden met een lagere frequentie de transportkosten doen dalen, maar de voorraadkosten verhogen vanwege de noodzaak om hogere voorraadniveaus te handhaven. Omdat de voorraadkosten de transportkosten vaak overstijgen, opteren meer en meer leveranciers voor less-than-truckload (Vega, Vieira, Toso, & Faria, 2018).

Meer pakketjes betekenen meer leveringen wat ook een negatief effect heeft op het milieu. Enkel en alleen al in Europa is het transport van mensen en goederen direct verantwoordelijk voor 25 procent van alle CO₂-uitstoot. Deze uitstoot is niet enkel zeer slecht voor het milieu maar creëert ook schade aan de atmosfeer, water, land en verschillende andere belangrijke elementen van het ecosysteem. "De stijgende CO₂-uitstoot richt tevens een niet oplosbare schade aan in de ozonlaag. Deze beschermende laag is twee keer zo snel afgenomen dan wetenschappers hadden voorspeld. De toenemende uitstoot van CO₂ zal uiteindelijk ook leiden tot een verandering in het weer en zal resulteren in een onvermijdelijke opwarming van de aarde" (Todts, 2018).

Naast de CO₂-uitstoot moeten ook andere externaliteiten in rekening gebracht worden. "Er is sprake van een externe kost wanneer de sociale of economische activiteiten van een aantal personen een impact hebben op andere personen en wanneer de eerste groep niet verantwoordelijk wordt gesteld voor deze impact" (Friedrich & Bickel, 2001). Wanneer de druk op het transportnetwerk toeneemt, ontstaat bijvoorbeeld meer congestie, wat tot meer accidenten leidt en wachttijden tot gevolg. Een primaire reden voor deze congestie is de beperkte capaciteit van wegtransport in vergelijking met de enorme groei in containervervoer (Behdani, Fan, Wiegmans, & Zuidwijk, 2014). Deze leveringen kunnen ook voor de nodige geluidsoverlast zorgen, omdat deze vaak zeer vroeg of juist zeer laat plaatsvinden, wat een negatief effect heeft op de nachtrust van mensen. Al bij al kan besloten worden dat de effecten van een toenemend aantal less-than-truckload ladingen een negatieve impact heeft op de hele samenleving. Het is dus in ieders belang om een efficiënte oplossing te vinden voor deze less-than-truckload ladingen (van Lier, 2014).

Om de druk op, en de impact van het transportnetwerk te verminderen als gevolg van e-commerce, de kortere leveringsorders en hogere klantverwachtingen, wordt er gezocht naar innovatieve en creatieve oplossingen (Lyu, Chen, Wang, & Yang, 2019). Een gegeven waar op ingespeeld kan worden, zijn de verschillende combinaties van transportmodi, meer bepaald op welke wijze goederen doorheen de supply chain bewegen. Intermodaal transport, synchromodaal transport en het physical internet zijn hier allemaal voorbeelden van. Het uitgangspunt bij intermodaal transport is het gebruik van minstens twee verschillende modi. Hierbij wordt de langst mogelijke weg in het transportproces uitgevoerd via de meest duurzame modus. Een ander belangrijk punt bij intermodaal transport is

dat de goederen niet herschikt worden tijdens het transport. De goederen blijven dus gedurende heel het transport onaangeraakt, ongeacht de overstap naar andere modi tijdens dit proces. In sommige papers wordt bij intermodaal transport een onderscheid gemaakt met multimodaal transport, waarbij goederen wel overgeladen worden tijdens het transportproces. In dit onderzoek zal echter geen onderscheid gemaakt worden tussen deze twee combinaties van transportmodi en wordt multimodaliteit opgevat als een fundamentele kernterm die ten minste twee verschillende vervoerswijzen omvat. Ook synchromodaal transport heeft als uitgangspunt dat er meerdere modi worden ingezet, maar bij deze methode speelt real-time informatie (congestie, het weer, accidenten etc.) een belangrijke rol. Aan de hand van real-time informatie kan op elk moment tijdens het transport bepaald worden welke transportmodus en route op dat moment, voor die lading en die locatie het meest geschikt is. De modi en route zijn dus niet vooraf vastgelegd wat wel het geval is bij intermodaal transport. Intermodaal transport kan dus eerder gezien worden als een statisch proces, waar synchromodaal transport dan eerder als dynamisch wordt beschouwd (Meers, Pekin, Macharis, & Ambra, 2017). Tot slot zal ook het physical internet aan bod komen in dit onderzoek. Bij physical internet wordt informatie over de verschillende transportmogelijkheden en opslagruimtes tussen verschillende partners in de supply chain gedeeld, waardoor het gehele transportnetwerk in kaart wordt gebracht. Door niet enkel het delen van deze informatie maar ook het beschikbaar stellen van deze resources kunnen transportmogelijkheden beter worden benut. Dit heeft een positief effect op de kosten, efficiëntie, congestie en emissies (Montreuil, 2011). Multimodale transportmodellen hebben de mogelijkheid om een efficiënter, flexibeler, duurzamer en betrouwbaarder transport te bieden (SteadieSeifi, Dellaert, Nuijten, Woensel, & Raoufi, 2014).

1.2. Onderzoeksvraag

De problemen die hierboven worden aangekaart, verklaren het toenemende aantal less-than-truckload ladingen en de toenemende druk op het transportnetwerk. Intermodaal en synchromodaal transport en het physical internet kwamen eerder al kort aan bod en zouden een belangrijke rol kunnen spelen in het streven naar een oplossing voor de toenemende druk op het transportnetwerk. Het toenemende aantal less-than-truckload ladingen is een fenomeen wat slechts sinds enkele jaren een topic ter discussie vormt. De data die hierover te vinden is, is daarom alsmear groeiend en scheidt nog niet voldoende duidelijkheid over de opportuniteiten van deze drie multimodale transportmodellen binnen de context van less-than-truckload transport. In deze context ontstond de volgende onderzoeksvraag.

Wat zijn opportuniteiten en uitdagingen van synchromodaal transport binnen de context van less-than-truckload transport?

Deelvraag 1: Wat zijn de belangrijkste combinaties van transportmodi en hun kenmerken?

Deelvraag 2: Wat is less-than-truckload transport en wat zijn de belangrijkste uitdagingen?

Deelvraag 3: Wat zijn de belangrijkste uitdagingen van synchromodaal transport?

Deelvraag 4: Welke opportuniteiten en uitdagingen kent synchromodaal transport in een less-than-truckload context?

De onderzoeksvraag wordt afgebakend door enkel te focussen op synchromodaal transport binnen de context van less-than-truckload transport. Intermodaal transport is een heel statisch proces waarbij de route en modaliteit vooraf vastgelegd worden en vervolgens bediend. Synchromodaal transport bouwt hierop verder in de zin dat in iedere hub van modaliteit gewisseld en/of een andere route gebruikt kan worden op basis van real-time informatie. Het proces is daarom eerder dynamisch (Meers et al., 2017). Synchromodaal transport kan dus worden gezien als een uitbreiding op intermodaal transport, waardoor veel raakvlakken optreden. Het laatste model, het physical internet, is eerder complex in de zin dat pakketten afzonderlijk behandeld worden in vergelijking met een volledige laadeenheid bij intermodaal en synchromodaal transport. Daarnaast is de literatuur rond physical internet eerder beperkt omdat uitgebreid onderzoek naar dit onderwerp slechts een vijftal jaar teruggaat. Daarnaast is deze vorm nog in de ontwikkelingsfase waarbij gestreefd wordt naar een volledige implementatie tegen 2030 (Ambra, Caris, & Macharisa, 2019).

De onderzoeksvraag wordt ondersteund door vier deelvragen. Deze deelvragen dienen als opstap voor de hoofdvraag. Ten eerste wordt onderzocht wat de verschillende combinaties van transportmodi zijn en wat de bijbehorende kenmerken zijn van deze modellen. Zoals eerder aangehaald, zullen hier drie modellen aan bod komen: intermodaal transport, synchromodaal transport en het physical internet. Vervolgens zal een less-than-truckload context verduidelijkt worden, waarbij de belangrijkste uitdagingen worden geïdentificeerd. Hierna wordt toegespitst op synchromodaal transport en de belangrijkste uitdagingen van dit model. Tot slot zal de link gelegd worden tussen synchromodaal transport en less-than-truckload transport door na te gaan wat de opportuniteiten en uitdagingen zijn van deze combinatie.

1.3. Onderzoeksaanpak

In dit deel wordt concreet besproken hoe de onderzoeksvragen beantwoord zullen worden. De nodige kennis zal onderzocht worden aan de hand van een literatuurstudie.

In de literatuurstudie wordt een grote hoeveelheid literatuur verzameld en geanalyseerd om een beeld te krijgen van de belangrijkste opportuniteiten en uitdagingen van synchromodaal transport. Literatuur kan onder meer bestaan uit papers en boeken. Het doel hiervan is om bekend te worden met de theoretische achtergrond en zo de onderzoeksvragen onderbouwd te beantwoorden. De literatuurstudie zal bestaan uit drie onderdelen. Eerst wordt een beeld geschetst over de verschillende combinaties van transportmodi. Dat houdt in: intermodaal transport, synchromodaal transport en *het* physical internet. Als tweede deel zal het huidig onderzoek over less-than-truckload bestudeerd worden. Ten slotte, als derde deel, wordt gezocht naar uitdagingen van synchromodaal transport en de opportuniteiten die het biedt voor een less-than-truckload context.

1.3.1. Zoektermen

Literatuur wordt gezocht aan de hand van zoektermen zodat met een gerichte aanpak gezocht kan worden naar literatuur over het afgebakende thema. Bij het opstellen van deze lijst wordt rekening gehouden met synoniemen. De lijst met zoektermen zal voornamelijk bestaan uit Engelse termen, maar vertalingen naar het Nederlands zijn eveneens mogelijk. Ten slotte worden de gevonden zoektermen gecombineerd tot verschillende mogelijke zoekopdrachten, zoals:

- ⇒ (less-than-truckload OR less than truckload OR LTL) AND (e-commerce OR ecommerce)
- ⇒ (less-than-truckload OR less than truckload OR LTL) AND (challenges)
- ⇒ (intermodal transport OR intermodal transportation OR intermodality OR intermodaal transport)
- ⇒ (synchromodal transport OR synchromodal transportation OR synchromodality OR synchromodaal transport) AND (challenges OR success factors OR opportunities)
- ⇒ (synchromodal transport OR synchromodal transportation OR synchromodality OR synchromodaal transport) AND (less-than-truckload OR less than truckload OR LTL)
- ⇒ (physical internet OR PI)
- ⇒ ...

1.3.2. Databases

Als databases om de zoekopdrachten uit te voeren wordt gebruikt gemaakt van: Google Scholar, Emerald, Research gate, Springer, Elsevier en Bibliotheek U Hasselt, waaronder Web of Science en ProQuest.

1.3.3. Inclusie- en exclusiecriteria

Inclusiecriteria beschrijven de voorwaarden waaraan de gevonden literatuur moet voldoen om opgenomen te worden in de literatuurlijst. Toegepast op het afgebakende thema zijn dit de volgende criteria:

- ⇒ De literatuur komt van een betrouwbare bron. Een duidelijke vermelding van de oorsprong van de gegevens van een betrouwbare instelling is beschikbaar of het is geschreven door een autoritaire auteur binnen het vakgebied.
- ⇒ De gevonden informatiebronnen hebben liefst eveneens een peer-reviewproces doorlopen. Maar dat is geen vereiste.

Exclusiecriteria beschrijven de redenen waarom literatuur niet wordt opgenomen in de literatuurlijst. Toegepast op het afgebakende thema zijn dit de volgende criteria:

- ⇒ Literatuur die niet is geschreven in het Nederlands of in het Engels.
- ⇒ Literatuur die zich dateert van voor 1993.
- ⇒ Literatuur die enkel model specifieke bevindingen bespreekt, wordt genegeerd.

1.3.4. Afbakening van de tijdsperiode

Zoals beschreven in de exclusiecriteria wordt er niet gekeken naar literatuur uitgebracht voor het jaartal 1993. Dat is bepaald door rekening te houden met de geschiedenis. In 1993 werd namelijk

voor het eerst op de European Conference of Ministers of Transport de term intermodaal transport gedefinieerd. De andere modellen groeiden hieruit voort en ontwikkelden zich dus pas later.

1.3.5. Identificatie van bijkomende literatuur

Naast literatuur gevonden via de lijst van zoektermen en databases, wordt gebruikt gemaakt van *'citation chaining'* om bijkomende literatuur te verzamelen. Hierbij wordt zowel gekeken naar papers geciteerd door de originele paper als naar papers die de originele paper hebben geciteerd.

Hoofdstuk 2: De verschillende combinaties van transportmodi

In dit hoofdstuk wordt de eerste deelvraag beantwoord. De eerste deelvraag luidt: "Wat zijn de belangrijkste combinaties van transportmodi en hun kenmerken?".

Een steeds dynamischere omgeving waarbij continue verandering en innovatie optreedt, de wereldwijde concurrentie en duidelijk gedefinieerde klantenvereisten zorgen ervoor dat moderne ondernemers nieuwe strategieën moeten toepassen om te reageren op deze trends zodat ze succesvol blijven. "Effectief gebruik van transportvoertuigen, route-optimalisatie, groepering van bestemmingspunten, vermindering van opgesplitste zendingen, het efficiënt gebruik van infrastructuur en passende investeringsprojecten resulteren in concurrentievoordeel" (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017). De toename van transport via de weg kan leiden tot systeemoverbelasting, evenals tal van ongevallen tijdens het transport, schade aan goederen, schade aan het milieu en wachtkosten. Met een toename in de totale vracht die dagelijks getransporteerd moet worden, is het essentieel om op zoek te gaan naar andere opties die betere resultaten leveren wat betreft kosten en efficiëntie (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017).

Logistieke dienstverleners worden geconfronteerd met een aantal problemen en uitdagingen bij het leveren van een efficiënte en kosteneffectieve service, die onderzocht kunnen worden op strategisch (lange termijn), tactisch (middellange termijn) en operationeel (korte termijn) niveau. "Op strategisch niveau houdt de dienstverlener zich bezig met het ontwerp van het fysieke infrastructuurnetwerk, waarbij beslissingen worden genomen over het aantal en de locatie van terminals, het type en de hoeveelheid apparatuur (bijv. kranen) die in elke faciliteit geïnstalleerd wordt, capaciteit die toegevoegd of gereduceerd moet worden, de klantzonen die rechtstreeks bediend moeten worden, enzovoort" (Bektas & Crainic, 2007). Het doel van een goed servicenetwerk is het minimaliseren van de totale kosten. Desalniettemin wordt een kwalitatieve dienstverlening, gemeten aan de hand van snelheid, flexibiliteit en betrouwbaarheid steeds meer beschouwd als een bijkomend onderdeel van dit doel. Beslissingen die bijdragen tot het realiseren van dit doel zijn beslissingen op tactisch niveau (Crainic & Kim, 2007). Het doel op operationeel niveau is om ervoor te zorgen dat aan de vraag wordt voldaan en alle middelen efficiënt worden ingezet. De belangrijkste problemen die optreden op dit niveau zijn het alloceren en herpositioneren van lege voertuigen, het toewijzen van de medewerkers, het toewijzen van de beschikbare middelen en de routing van voertuigen voor leveringen (Bektas & Crainic, 2007). Het fundamentele doel is om gebruik te maken van transportmiddelen met geoptimaliseerde oplossingen en de specifieke voordelen van elke transportmodus (Pleszko, 2012).

2.1. Intermodaal transport

Een groei in internationale handel de laatste jaren heeft ervoor gezorgd dat meer bedrijven opteren voor intermodaal transport, waardoor de interesse in onderzoek naar deze combinatie is toegenomen. European Conference of Ministers of Transport (1993) definieert intermodaal transport als de verplaatsing van goederen in één enkele vrachteenheid door minstens twee verschillende transportmodi, zonder dat de goederen worden behandeld tijdens het transport. Anderen daarentegen zijn specifiek in hun definitie, waarbij de goederen worden vervoerd in containers of

trailers en een combinatie van weg en spoor wordt geopperd, al dan niet gekoppeld aan scheepvracht (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017). Auteurs hebben de neiging om hun definitie van intermodaal transport zelf in te vullen naargelang het onderzoek dat ze voeren. Tot gevolg zijn een tal van definities over intermodaal transport te vinden, waardoor een fundamentele interpretatie van het begrip ontbreekt. De meeste definities geven wel duidelijk aan dat minstens twee transportmodi gebruikt worden, maar verwijzen vaak specifiek naar spoor als tweede modus en zijn dus niet inclusief. Ook het gebruik van gestandaardiseerde containers wordt vaak niet genoemd (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017; Jones, Cassidy, & Bowden, 2000).

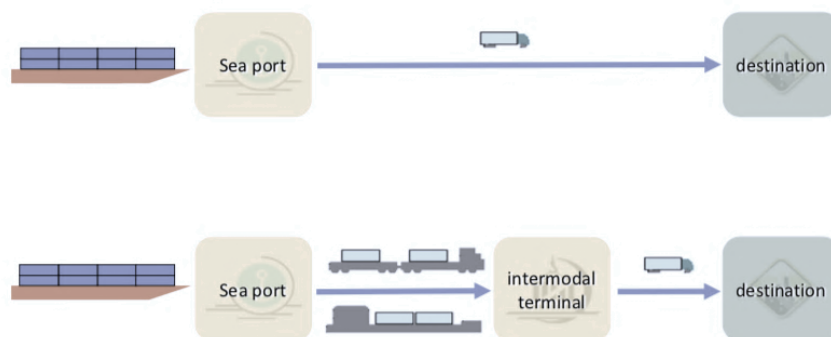
Ter verduidelijking worden enkele definities die terug te vinden zijn in de literatuur voor intermodaal transport op chronologische wijze samengevat in Tabel 1.

Tabel 1: De verschillende definities van intermodaal transport

Bron	Definitie intermodaal transport
European Conference of Ministers of Transport (1993)	De verplaatsing van goederen in één enkele vrachteenheid door middel van twee of meer opeenvolgende transportmodi, zonder dat de goederen worden behandeld tijdens het transport.
Muller (1995)	Het gecoördineerde transport van goederen in containers of trailers, al dan niet gekoppeld aan scheepvracht.
(Jones et al., 2000)	Het transporteren van goederen en het verplaatsen van mensen waarbij meer dan één modus wordt gebruikt tijdens één enkele reis
(Sommar, 2006)	Het verplaatsen van goederen in één en dezelfde laadeenheid, die achtereenvolgens twee of meer vervoerswijzen gebruikt zonder de goederen zelf in wisselende vervoerswijzen te behandelen.
(Bektas & Crainic, 2007)	Het transport van personen of goederen van hun oorsprong naar hun bestemming door een opeenvolging van ten minste twee vervoerswijzen. Transfers van de ene modus naar de andere worden uitgevoerd aan intermodale terminals.
(Crainic & Kim, 2007)	Het transporteren van een lading van de oorsprong naar de bestemming door een opeenvolging van ten minste twee transportmodi, waarbij de overdracht van de ene modus naar de volgende wordt uitgevoerd op een intermodale terminal.
(Ayar & Yaman, 2012)	Intermodaal transport kan in brede zin worden gedefinieerd als het transport van goederen of mensen waarbij meer dan één vervoerswijze gebruikt wordt, op een geïntegreerde manier van een vertrekpunt naar een bestemming.
(Tavasszy, Behdani, & Konings, 2015)	Het transport van één enkele ladingseenheid door opeenvolgende modi in een transportketen.
(Slack, 2017)	Intermodaal transport kan gedefinieerd worden als een geïntegreerd proces met minstens twee verschillende transportmodi in één enkele reis.

	Het doel is een naadloos proces onder één contract met gedeelde aansprakelijkheid.
--	--

De vraag naar bepaalde logistieke diensten ontstaat in de relatie tussen producenten en consumenten van goederen, en door de afstand die zich vaak bevindt tussen deze twee. Producenten hebben nood aan diensten waarbij grondstoffen en onafgewerkte producten worden toegeleverd en de afgewerkte producten van de producent naar de toebehorende consument worden geleverd (Crainic & Kim, 2007). Het combineren van twee of meer transportmodi in een logistiek netwerk zorgt ervoor dat goederen op een economische wijze getransporteerd worden. De belangrijkste spelers binnen intermodaal transport zijn enerzijds de afzenders ("shippers") die de vraag voor transport creëren en de transporteurs of logistieke dienstverleners ("carriers") die de vraag van de afzenders beantwoorden door transportmogelijkheden aan te bieden (Bektas & Crainic, 2007). Anderzijds is er het intermodale netwerk zelf dat bestaat uit verschillende multimodale diensten en terminals. Overheden dragen bij aan de infrastructuur zoals wegen, snelwegen, havens en spoorwegen, stellen regulaties op en ze voeren de belastingen uit (Crainic & Kim, 2007). De interacties tussen al deze spelers bepalen de prestaties van het intermodale transportsysteem. Het fundamentele idee van intermodaal transport is om ladingen te consolideren voor transport over lange afstanden (bijvoorbeeld per spoor of scheepvracht), en tegelijkertijd te profiteren van de efficiëntie van lokale ophaal- en leveringsactiviteiten via de weg zoals gevisualiseerd wordt in figuur 3 (Bektas & Crainic, 2007).



Figuur 3: Een visuele presentatie van unimodaal transport en intermodaal transport (Ambra, 2020)

2.1.1. Verschillende combinaties van transportmodi

Intermodaal transport wordt vaak gebruikt als een strategisch instrument om zo te profiteren van de voordelen van elke transportmodus. De belangrijkste combinaties die gebruikt worden bij intermodaal transport zijn weg-spoor, weg-lucht, zee-spoor en zee-weg omdat deze vaak het meest geschikt en competitief zijn. Een intermodaal transportsysteem kan echter worden gevormd uit verschillende combinaties van mogelijke vervoerswijzen over de weg, het spoor, de zee en/of de rivier en door de lucht. De combinatie tussen lucht en zee wordt momenteel het minst gebruikt en enkel wanneer er sprake is van noodsituaties aangezien deze combinatie te maken heeft met een zeer lage winstmarge vanwege de grote vaste kosten die eraan verbonden zijn. Daarentegen heeft intermodaliteit tussen weg en spoor veel potentieel om de congestieproblemen in het verkeer te

verminderen, omdat deze combinatie het toelaat om grote vrachtvolumes te transporteren. Als gevolg zal de CO₂-uitstoot ook verminderd worden onder deze combinatie wat de prestaties verbetert door middel van schaalvoordelen. De combinatie van zee en het spoor wordt dan weer aanbevolen bij het transport van bulkgoederen, wanneer de vrachteenheid niet gestandaardiseerd kan worden (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017). Het volume van bulkgoederen is namelijk groot en de afstand vaak lang waardoor de gebruikte transportmodi idealiter beschikken over voldoende volumecapaciteit. Anderzijds zijn dit soort ladingen relatief goedkoop, waardoor de transporttarieven niet te hoog mogen oplopen (Beresford, Pettit, & Liu, 2011). De effectiviteit van weg in combinatie met rivier is dan weer zeer gevoelig voor eventuele veranderingen in de hoeveelheid goederen die vervoerd worden, de capaciteit van de verschillende modi en de intermodale terminals van elke modus (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017). Weg-luchttransport wordt besproken als één van de meest haalbare opties wanneer er sprake is van express leveringen vanwege een goede trade-off tussen kosten en snelheid. Om competitief te zijn met de combinatie van weg en lucht voor express leveringen is het van belang dat het alternatief in vergelijking met de weg, sneller is, en tegelijkertijd goedkoper dan luchttransport (Ohnell & Woxenius, 2003). Tot slot blijkt dat zee-weg routes voordelen bieden ten opzichte van unimodaal wegtransport op basis van een optimaler gebruik van de capaciteit, wat de nadelen van de extra wachtkosten bij zee en weg zou overstijgen (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017).

2.1.2. Voor- en nadelen

Transport in zijn geheel is verantwoordelijk voor 19% van het energieverbruik over heel de wereld. Er wordt verwacht dat emissie verder zal stijgen met 50% tegen 2030 en met 100% tegen 2050 (in vergelijking met cijfers van 2007). Het internationaal Energie Agentschap voorziet een mogelijke vermindering van 15% in de uitstoot van broeikasgassen tegen 2050 mits gebruik van de gepaste intermodale shift (Craig, Blanco, & Sheffi, 2013). Craig et al. (2013) concluderen dat de gemiddelde koolstofintensiteit gemiddeld 46% lager ligt dan unimodaal wegtransport. Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat de afstand voor transport voldoende lang moet zijn, zodanig dat transport via intermodaal transport efficiënter uitkomt dan wegtransport (zie nadeel 'competitief vanaf langere afstanden) (Kordnejad, 2014; Kurtulus & Çetin, 2020; Sommar, 2006; Tavasszy et al., 2015). Kordnejad (2014) bevestigt deze resultaten met twee cases, waarbij reducties plaatsvinden in CO₂-uitstoot van 66,2% en 33,9% (Kordnejad, 2014). Onder intermodaal transport wordt in vergelijking met unimodaal transport gemiddeld 20 procent bespaard op transportkosten door het optimale gebruik van de capaciteit van elke transportmodus in combinatie met een verminderd aantal ritten die gereden moeten worden (Bektas & Crainic, 2007; Kordnejad, 2014; Tavasszy et al., 2015). Verder zou een efficiëntie van het gebruik van laadruimtes optreden van 63 procent onder intermodaal transport in vergelijking met unimodaal wegtransport, waarbij slechts één transportmodus wordt gebruikt (Kordnejad, 2014). In de Europese Unie heeft intermodaliteit een wereldwijde impact gehad door een betere bezetting van de transportcapaciteit, verlaging van logistieke kosten, een grotere toegankelijkheid van markten (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017), lagere externe kosten, duurzaamheid (Kurtulus & Çetin, 2020) en schaalvoordelen.

Tabel 2: Voordelen van intermodaal transport per auteur

Bron	Voordelen		
	Duurzaam/ Lagere externe kosten	Schaalvoordelen/ Lagere transportkosten	Bereikbaarheid
(Sommar, 2006)	x	x	
(Bektas & Crainic, 2007)	x	x	
(Crainic & Kim, 2007)		x	
(Kordnejad, 2014)	x	x	
(Tavasszy et al., 2015)		x	
(Slack, 2017)		x	X
(Kurtulus & Çetin, 2020)	x		

Hoewel in de literatuur vaak wordt geargumenteed dat intermodaal transport niet competitief is bij afstanden kleiner dan 400 kilometer (Kordnejad, 2014; Sommar, 2006; Tavasszy et al., 2015), toont onderzoek echter aan dat intermodaal transport wel concurrerend kan zijn bij kortere afstanden (Kurtulus & Çetin, 2020). De factoren die de modale shift echter beïnvloeden, kunnen verschillen tussen korte en lange afstanden (Kurtulus & Çetin, 2020). Daartegenover staan wel éénduidige nadelen zoals een lage service kwaliteit (Kurtulus & Çetin, 2020). Alle transportmodi, exclusief transport via de weg, hebben namelijk te maken met beperkte tijdsloten waarin ze kunnen vertrekken of aankomen, en hebben niet de mogelijkheid om op elke gewenste plaats te stoppen of aan te meren. Niet alle havens zijn bijvoorbeeld geschikt voor alle maten van schepen, treinen moeten rekening houden met andere gebruikers op een bepaald spoor waarbij enkel gestopt kan worden in de voorziene stations en transport via de lucht verloopt via luchthavens (Bektas & Crainic, 2007; Kordnejad, 2014; Sommar, 2006). Omdat intermodaal transport gebruik maakt van minstens twee verschillende transportmodi, bestaan er intermodale terminals, waarbij de vracht van de ene modus wordt overgedragen naar de volgende transportmodus. De handelingen aan deze terminals vereisen vaak dure middelen zoals *swap bodies* en kraanvorken (Slack, 2017; Sommar, 2006; Tavasszy et al., 2015) en brengen een groter risico wat betreft schade of verlies aan de goederen met zich mee (Sommar, 2006). Extra handelingen en langere transportroutes betekenen vaak ook langere wacht- en doorlooptijden, wat een gevoel van lagere betrouwbaarheid kan geven bij de klanten van de logistieke service (Bektas & Crainic, 2007; Crainic & Kim, 2007; Kordnejad, 2014; Slack, 2017). Ook een gebrek aan goede regelgevingen en integratie tussen alle transportnetwerken kan een gevoel van lage betrouwbaarheid veroorzaken (Kurtulus & Çetin, 2020).

Tabel 3: Nadelen van intermodaal transport per auteur

Bron	Nadelen				
	Competitief vanaf langere afstanden	Kosten aan terminals	Lagere betrouwbaarheid	Schade en/of verlies	Tijdsgebonden/Lage service kwaliteit
(Sommar, 2006)	x	x		x	x
(Bektas & Crainic, 2007)		x	x		
(Crainic & Kim, 2007)		x	x		
(Kordnejad, 2014)	x	x	x		x
(Tavasszy et al., 2015)	x	x			
(Slack, 2017)		x	x		
(Kurtulus & Çetin, 2020)	x		x		x

2.1.3. Containerisatie

De containergerelateerde transportactiviteiten zijn de afgelopen tien jaar opmerkelijk gegroeid en de trend vertoont geen tekenen van vertraging (Crainic & Kim, 2007). Intermodaal transport is sterk afhankelijk van gestandaardiseerde containers vanwege de vele voordelen die eraan verbonden zijn. Ten eerste kunnen de handelingen bij de terminals sneller en efficiënter worden uitgevoerd (Ayar & Yaman, 2012; Bektas & Crainic, 2007). Dit resulteert in een versnelling van de operaties, niet alleen op de terminals, maar in de hele transportketen. Ten tweede biedt het veiligheid door verlies van en schade aan goederen sterk te verminderen (Crainic & Kim, 2007), aangezien de inhoud van de containers niet wordt behandeld tijdens het transport, enkel bij het vertrekpunt of bestemming. Deze standaardisatie van transport vertaalt zich verder in kostenbesparingen en efficiëntie (Crainic & Kim, 2007). Tot slot zijn containers flexibel genoeg om producten van verschillende soorten en afmetingen te transporteren. Om deze redenen maakt containerisatie een beter beheer van de vervoerde goederen mogelijk waardoor het gebruik van containers de transportkosten aanzienlijk verlaagt (Bektas & Crainic, 2007).

2.1.4. Modale keuze

Ondanks de hoge verwachtingen en voordelen die geassocieerd worden met intermodaal transport zijn er ook enkele beperkingen en uitdagingen verbonden aan dit model. Zo bepalen de klanten, in dit model de afzenders, zelf en op voorhand de transportmodi en transportleverancier die ze willen gebruiken voor hun goederen. Wanneer deze keuze niet wordt overgelaten aan de klant, is er sprake van amodaal boeken. Het gebrek aan de optie tot amodaal boeken, beperkt de flexibiliteit van de logistieke dienstverlener om effectief te reageren op real-time infrastructurele en operationele

ontwikkelingen. McGinnis (1990) identificeert zes factoren die van invloed zijn op de beslissing van een afzender bij het kiezen van een transportmodus. Deze factoren zijn de transporttarieven, de betrouwbaarheid, transittijden, verlies en schade van zendingen, marktoverwegingen zoals klantenservice, klanttevredenheid, concurrentievermogen en marktinvoeden en tot slot overwegingen wat betreft de logistieke dienstverlener, zoals de beschikbaarheid, capaciteit, reputatie en de middelen van de dienstverlener (McGinnis, 1990). Vijf jaar later bleek uit een update van deze studie dat betrouwbaarheid in tegenstelling tot kosten of andere factoren, meer invloed heeft op de beslissing van een transportmodus vanuit het perspectief van de afzender (klant) (Murphy & Hall, 1995). De factoren die worden geïdentificeerd door (Flodén, Barthel, & Sorkina, 2017; Holguín-Veras, Kalahasthi, Campbell, Gonzalez-Calderon, & Wang, 2021), komen hier in grote lijnen mee overeen, hoewel de factoren sterk afhangen van de context waarin je transporteert. De differentiërende factor in de studie van Holguín-Veras et al. (2021) is de aandacht voor seizoenseffecten wat een effect heeft op het weer en de verkoopcijfers in een bepaalde periode. In winterperiodes kan het namelijk voorvallen dat bepaalde havens gesloten zijn en meer vertragingen optreden wanneer geopteerd wordt voor transport via spoorwegen. De beslissing van een afzender voor een bepaalde transportmodus wordt hier sterk door beïnvloed (Holguín-Veras et al., 2021).

Tabel 4: Factoren die van invloed zijn op de beslissing bij het kiezen van een transportmodus

Bron	Factoren	
(McGinnis, 1990)	Transporttarieven Betrouwbaarheid Overwegingen logistieke dienstverlener	Verlies en schade aan zendingen Marktoverwegingen Transittijden
(Cullinane & Toy, 2000)	Kosten Snelheid Betrouwbaarheid van transittijd Productkenmerken Service Frequentie Afstand	Flexibiliteit Beschikbaarheid infrastructuur Vermogen Voorraad Verlies/schade Verkoopcijfers per jaar Beheersbaarheid Eerdere ervaring
(Flodén et al., 2017)	Kosten Transportkwaliteit Betrouwbaarheid Transittijden	Frequentie Schade/veiligheid Omgevingsfactoren Informatietechnologie
(Holguín-Veras et al., 2021)	Transporttarieven Transittijden Betrouwbaarheid Kwaliteit van de service	Productkenmerken Seizoenseffecten Grootte van de verzending Afstand

Vaak wordt deze keuze echter overschaduwd door de percepties die de afzender heeft over de transportmodi. Deze percepties worden beïnvloed door ervaringen uit het verleden (Cullinane & Toy,

2000), verwachtingen en algemene kennis en geven mogelijk niet altijd de werkelijke situatie weer. Het is dus van belang dat de logistieke dienstverleners garanderen dat de percepties van de afzender overeenstemmen met de werkelijkheid, aangezien dergelijke inspanningen voordelig kunnen zijn door een toename in de vraag bij u als dienstverlener (Bektas & Crainic, 2007; Cullinane & Toy, 2000).

2.1.5. Kenmerken

Intermodale transportsystemen produceren de gewenste resultaten wat betreft directe en indirecte kosten en tijd, maar de combinaties van transportmodi die worden gebruikt om dit te realiseren, moeten voldoen aan de eisen en beperkingen van de logistieke omgeving. De kenmerken die het meest werden benadrukt in de literatuur om een fundamentele interpretatie te creëren van intermodaal transport zijn het gebruik van minstens twee verschillende transportmodi in éénzelfde reis; intermodaal transport heeft een statisch karakter omdat beslissingen vooraf vaststaan en real-time informatie buiten beschouwing wordt gelaten; het gebruik van gestandaardiseerde containers voor een flexibele en efficiënte transportketen; het behandelen van volledige laadeenheden in plaats van de afzonderlijke pakketten; en de afwezigheid van amodaal boeken. Ter verduidelijking wordt in tabel 5 een overzicht weergegeven van de kenmerken genoemd per auteur. De tabel toont aan dat geen enkele auteur alle gevonden kenmerken van intermodaal transport bespreekt. De kenmerken die worden opgesomd kunnen wel één voor één als relevante en belangrijke kenmerken van intermodaal transport beschouwd worden, aangezien ze steeds door meerdere bronnen worden vermeld en bevestigd. Het feit dat intermodaal statisch optreedt in plaats van dynamisch wordt echter enkel door Crainic en Kim (2007) geopperd. De ontwikkeling richting het dynamische synchromodale netwerk en de kennis die hierbij werd opgedaan, heeft gezorgd voor deze extra kennis bij het intermodaal transport. Het is dus niet abnormaal dat dit kenmerk nog niet uitgebreid besproken wordt in de literatuur rond intermodaal transport.

Tabel 5: Kenmerken intermodaal transport per auteur

Bron	Minstens twee modi	Statisch	Containerisatie	Geen cargo handling	Afwezigheid amodaal boeken
(Jones et al., 2000)	x		x		
(European Conference of Ministers of Transport, 1993)	x			x	
(Sommar, 2006)	x		x	x	x
(Bektas & Crainic, 2007)	x		x	x	x

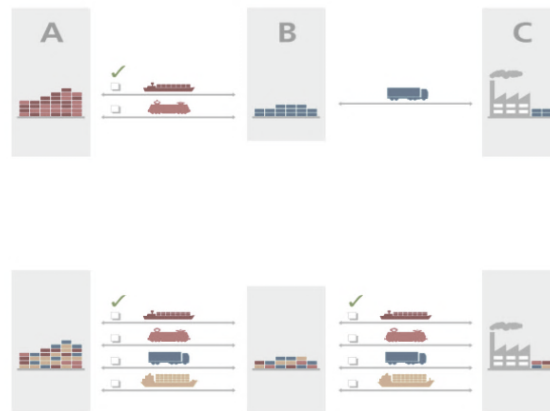
(Crainic & Kim, 2007)	x	x	x	x	
(Kordnejad, 2014)	x				x
(Tavasszy et al., 2015)	x		x		x
(Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017)	x		x	x	
(Slack, 2017)	x		x		

2.2. Synchronodaal transport

Het concept van synchronodaal transport of synchronodaliteit is de meest recente fase in de conceptuele evolutie van multimodaal transport. De synchronodale term werd in 2010 bedacht door de Nederlandse wetenschappers Tavasszy, van der Lugt en Hagdom (2010). "Het biedt een uitbreiding op het concept intermodaal transport door real-time laadeenheden te herrouteren om storingen, operationele vereisten of klantenvereisten op te vangen" (Ambra et al., 2019). "Synchronodaal transport is een innovatief idee waarbij transportmodi flexibel en duurzaam worden gebruikt, gefundeerd door een goede samenwerking tussen logistieke partners die de verschillende transportmodi vertegenwoordigen, aangepast aan de eisen van de klant en de huidige transportcapaciteiten" (Pleszko, 2012). Dit betekent dat in real-time de best beschikbare modi worden gebruikt, op voorwaarde dat alle deelnemers in het netwerk een juiste en actuele informatie-uitwisseling toepassen (Pleszko, 2012). Het netwerk neemt met andere woorden een hybride karakter aan, door het real-time wisselen tussen transportmodi, waarbij flexibele intermodaliteitsopties worden aangeboden om het gebruik van alle transportmodi te optimaliseren (Agamez-Arias & Moyano-Fuentes, 2017).

In een synchronodale setting worden beslissingen met betrekking tot de keuze van transportmodus en de routeplanning niet lang van tevoren vastgelegd. Deze beslissingen worden zo laat mogelijk genomen zodanig dat zo optimaal mogelijk gereageerd wordt op real-time infrastructurele en operationele ontwikkelingen. "Onverwachte gegevenswijzigingen door storingen of andere gebeurtenissen leiden tot opstoppingen, vertragingen en tijd-/geldverlies" (Ambra et al., 2019). Synchronodaal transport heeft de potentie om betere prestaties te verrichten dan intermodaal transport onder andere op het gebied van flexibiliteit en betrouwbaarheid, maar ook duurzaamheid. Op elk punt in het transportproces kunnen *last-minute* beslissingen worden gemaakt over de keuze van transportmodus, zonder dat deze op voorhand wordt bepaald. "De integratie van real-time informatie en andere dynamische elementen kan het herrouteren, plannen en de *modal shift* vergemakkelijken, wat bijdraagt aan een groter concurrentievermogen in vergelijking met intermodaal transport" (figuur 4) (Ambra et al., 2019). Dynamische elementen zijn gegevens die

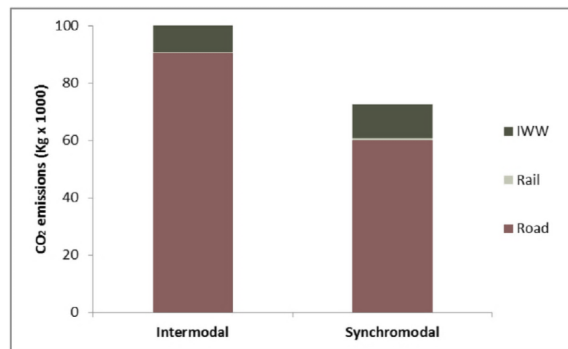
tijdsgebonden zijn, zoals de vraag, transittijd, beschikbare middelen enzovoort, beïnvloedt door elementen zoals congestie, het weer, ongevallen en meer (Ghiani, Guerriero, Laporte, & Musmanno, 2003).



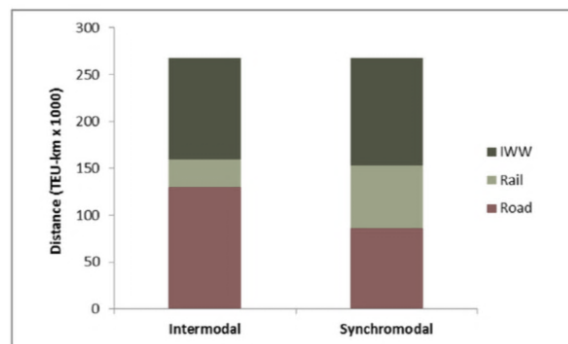
Figuur 4: Intermodaal en synchromodaal transport (ECT, 2011)

De bovenste keten stelt een intermodaal netwerk voor waar punt A tot punt B wordt uitgevoerd door scheepsvervoer of trein en punt B tot punt C (*last-mile*) door een vrachtwagen. De onderste keten representeert een synchromodaal transport waar ingezet wordt op maximale flexibiliteit en duurzaamheid: in A kan men kiezen uit verschillende modale opties, maar ook in B en in C voor de terugrit (ECT, 2011).

Enkele struikelblokken die ontstaan bij intermodaal transport zijn de kosten, de betrouwbaarheid, de tijd en de flexibiliteit (Meers et al., 2017). "Synchromodaliteit heeft tot doel transportkosten, vertragingen en koolstofemissies te verminderen en tegelijkertijd het gebruik van middelen te verbeteren op basis van real-time informatie" (Guo, Atasoy, Blokland, & Negenborn, 2021). Figuur 5 toont aan dat onder synchromodaal transport koolstofemissies in hun totaliteit enorm verminderen. De dominerende factor hierbij is de vermindering van koolstofemissies door middel van wegtransport. Een lichte stijging treedt op bij emissies door middel van spoor en wateren, die voor een groot deel de afstanden afgelegd door de weg onder intermodaal transport, op zich nemen. Dit gegeven wordt bevestigd door figuur 6, waarbij de afgelegde afstanden per modus worden weergegeven. Het aantal kilometers afgelegd door wegtransport is sterk verminderd, ten opzichte van treinvervoer waarbij een sterke stijging optreedt. Voorbeelden van projecten van dergelijke synchromodale systemen bestaan in Nederland, met het netwerk Rotterdam, Moerdijk en Tilburg als één van de meest gekende. Het doel is om na te gaan wat de mogelijkheden zijn van een synchromodaal transportsysteem op dit netwerk. Voor elke container werd geopteerd voor de meest optimale transportroute, waarbij alle partijen in het project samenwerken om het transportproces in zijn totaliteit verder te optimaliseren. "Op die manier is een stabiele *modal-split* gerealiseerd met 19 procent via de weg, 46 procent scheepsvervoer en 35 procent spoorvervoer. Dit overtreft de algemene doelstellingen van de haven voor 2033, die neerkomen op 35 procent vrachtwagenaandeel, 45 procent scheepsaandeel en 20 procent spoorandeel" (Pfoser, Treiblmaier, & Schauer, 2016).



Figuur 5: Totale CO₂ emissies per transportmodus (Zhang & Pel, 2016)



Figuur 6: Totaal afgelegde afstanden per transportmodus (Zhang & Pel, 2016)

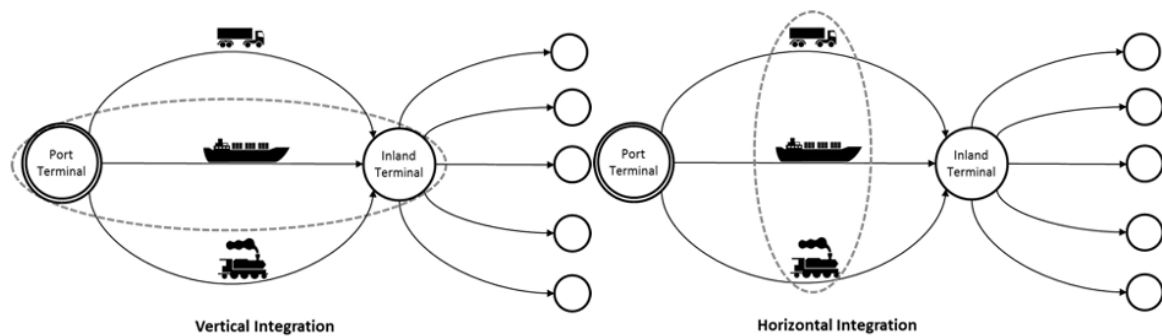
2.2.1. Amodaal boeken

Ook het concept amodaal boeken onderscheidt synchromodaal transport van intermodaal transport. Amodale boeking houdt in dat klanten vooraf geen transportmodi en routes selecteren voor hun zendingen maar die keuze overlaten aan de logistieke dienstverlener. Dit vergroot de flexibiliteit van de logistieke dienstverlener om de beschikbare capaciteiten te optimaliseren en effectief te reageren op storingen door transportplannen dynamisch bij te werken (Guo et al., 2021). "Kortom, in synchromodale transportketens maakt real-time schakelen tussen transportmodi efficiënte supply chains mogelijk waarin bedrijven hun transportdienst 'mode-free' boeken" (Pfoser et al., 2016). Op deze manier is het mogelijk voor de logistieke dienstverlener om de transportverzoeken van verschillende klanten te combineren en dusdanig de lading te optimaliseren (Pfoser et al., 2016).

2.2.2. Horizontale integratie

Net zoals bij intermodaal transport is het vinden van een éénduidige definitie voor synchromodaal transport moeilijk. Er is echter een algemene overeenstemming dat synchromodaal transport een geïntegreerde kijk op planning aanneemt en gebruik maakt van verschillende transportmodi om de transportvraag op een flexibele manier te beantwoorden. Vanwege de betrokkenheid van meerdere modi bij zowel intermodaal als synchromodaal transport is de integratie tussen de verschillende modi van groot belang. Bij intermodaal transport ligt de focus echter op verticale integratie van logistieke diensten binnen één intermodale transportketen, waarbij de verschillende modaliteiten als aparte ketens worden gezien en dus niet onderling worden gecoördineerd. Het onderscheidende kenmerk van een synchromodaal transportsysteem is de horizontale integratie binnen een heel

transportsysteem (Behdani et al., 2014; Tavasszy et al., 2015). Figuur 7 probeert deze twee concepten visueel te verduidelijken.



Figuur 7: Visuele representatie van verticale en horizontale integratie (Behdani et al., 2014)

2.2.3. Kenmerken

Het realiseren van een synchronodaal transportsysteem is niet zo eenvoudig. “De belangrijkste systeemwijzigingen om synchronodaliteit mogelijk te maken houden verband met (i) transacties die amodaal boeken mogelijk maken, (ii) overheidsregelingen die resulteren in een betere operationele afstemming van verschillende transportmodi, (iii) instellingen die gestandaardiseerde samenwerkingsregelingen creëren en (iv) shift van een dominante mindset (‘voorspellen’) naar een complementaire mindset (‘reageren’)” (Tavasszy et al., 2015). Ook Pfooser et al. (2016) identificeerde enkele kritische succesfactoren van synchronodaal transport. Zij achten een netwerk, waar ruimte is voor samenwerking en wederzijds vertrouwen tussen alle partners, van belang. Ondersteunende technologieën, die het uitwisselen van data op een gestandaardiseerde manier tussen al deze partijen mogelijk maken is een logisch gevolg. Verder is planning essentieel om voorspellingen te kunnen maken over de best mogelijke optie. Omdat synchronodaal transport steunt op samenwerkingen en het uitwisselen van data is een duidelijk legaal en politiek raamwerk noodzakelijk. Ook dit onderzoek verwijst naar de mindshift die optreedt omdat klanten niet langer een transportmodus reserveren maar zich toewijden aan een logistieke dienstverlener die een dienst levert. Het is daarom van belang dat de kosten die eraan verbonden zijn liefst lager uitkomen dan unimodaal transport. Het algemene doel is het verkrijgen van een aantrekkelijke bezetting van de middelen en infrastructuur door middel van het samenvoegen van pakketten met goederen tot synchronodale transportstromen (Pfooser et al., 2016). Het resultaat is een optimaal, duurzaam en betrouwbaar transportsysteem (Pleszko, 2012).

Het basisconcept van synchronodaal transport komt overeen met dat van intermodaal transport in de zin dat minstens twee verschillende transportmodi worden gebruikt bij het transporteren van gestandaardiseerde containers. De belangrijkste onderscheidende factoren zijn het dynamische karakter van synchronodaliteit, waarbij in elke hub de keuze van modi en route aangepast kan worden aan real-time informatie. Dit is mogelijk vanwege het concept amodaal boeken, waarbij de afzenders vooraf geen specifieke modi of routes selecteren bij de vraag naar een logistieke dienst. Tot slot is er de toevoeging van horizontale integratie, waarbij niet enkel in een intermodale

transportketen wordt geïntegreerd maar ook tussen de verschillende modaliteiten onderling. Ter verduidelijking worden de belangrijkste kenmerken van synchromodaal transport tegenover intermodaal transport opgesomd in tabel 6. Net zoals bij intermodaal transport komt de literatuur niet tot een éénduidige definitie van synchromodaal transport. Wat betreft de kenmerkende factoren van een synchromodaal netwerk stemmen de auteurs in grote lijnen wel overeen. Een aantal van deze factoren liggen echter minder aan de basis van het concept waardoor ze minder besproken worden in de literatuur, maar daardoor niet minder relevant zijn.

Tabel 6: : Kenmerken synchromodaal transport per auteur

Bron	Minstens 2 modi	Dynamisch	Containerisatie	Amodaal boeken	Horizontale integratie
(Behdani et al., 2014)	x				x
(SteadieSeifi et al., 2014)	x	x	x	x	
(van Riessen, Negenborn, & Dekker, 2015)	x		x		
(Tavasszy et al., 2015)	x	x			x
(Pfoser et al., 2016)	x	x		x	
(Zhang & Pel, 2016)	x	x		x	
(Ambra et al., 2019)	x	x	x	x	
(Giusti, Manerba, Bruno, & Tadei, 2019)				x	x
(Pfoser, Kotzab, & Bäumlner, 2021)	x	x		x	x

2.3. Physical internet

“De manier waarop fysieke objecten momenteel over de hele wereld worden vervoerd, gehanteerd, opgeslagen, gerealiseerd, geleverd en gebruikt, is economisch, ecologisch en sociaal niet duurzaam” (Montreuil, 2011). “Het physical internet wordt geïntroduceerd als een oplossing om de manier te verbeteren waarop fysieke objecten over de hele wereld worden verplaatst, opgeslagen,

gerealiseerd, gebruikt en geleverd om meer economische, ecologische en sociale efficiëntie te bereiken" (Ambra et al., 2019).

Physical internet (PI) kan worden omschreven als de onderlinge verbinding van logistieke netwerken via open logistieke hubs. Het belangrijkste doel is om het goederenvervoer efficiënter en duurzamer te maken. PI creëert een collaboratief transportnetwerk door gestandaardiseerde, modulaire containers, gemeenschappelijke protocollen en tools, gedeeld transport en technologische middelen te ontwikkelen. De PI-setting werkt als volgt; goederen worden eerst verpakt in standaard, modulaire containers, PI-containers genaamd, die verschillende afmetingen kunnen hebben. Eén of meerdere logistieke dienstverleners transporteren deze containers van hub naar hub tot aan de eindbestemming. Elke container vertegenwoordigt een transportverzoek. Zowel bedrijven als logistieke dienstverleners kunnen toetreden tot dit netwerk om een transportverzoek aan te bieden in het geval van de bedrijven of een transportverzoek te accepteren in het geval van de logistieke dienstverleners. Verzoeken kunnen echter ook onder logistieke dienstverleners onderling uitgewisseld worden (Qiao, Pan, & Ballot, 2019).

PI is geïnspireerd op de metafoor van het digitaal internet dat gebruik maakt van een pakketgeschakeld netwerk. Bij een pakketgeschakeld netwerk worden de te zenden gegevens opgesplitst in kleinere pakketten met variabele grootte die via verschillende routes over het internet reizen en vervolgens bij de ontvanger worden samengebracht. PI past deze aanpak toe waarbij de fysieke goederen via verschillende verbindingen van hun startpunt naar hun bestemming kunnen worden getransporteerd in gestandaardiseerde containers met behulp van gestandaardiseerde behandelingsprocedures. De eerste formele definitie van de PI werd geïntroduceerd door Montreuil, Meller en Ballot (2013), die het beschrijven als een open wereldwijd logistiek systeem gebaseerd op de fysieke, digitale en operationele interconnectiviteit. De fysieke elementen die het PI vormen zijn n -nodes, n -movers en n -containers. "De routing van n -containers door n -movers vindt plaats via n -nodes, de punten waar de kleinste verpakkingscontainers (p-containers), pallets (h-containers) en grote containers (t-containers) de PI (n -gateway), worden gesorteerd (n -sorters), samengesteld en aan elkaar geklikt (n -composers), opgeslagen in gespecialiseerde PI-magazijnen (n -storage) en gewisseld of overgedragen tussen transportmodi op hubs (n -hubs)" (Ambra et al., 2019).

Het doel van PI is om globale duurzaamheid en fysieke objectmobiliteit, opslag, realisatie en levering mogelijk te maken. Als de kenmerkende eigenschappen van het physical internet vergeleken worden met die van synchromodaal transport dan komen deze in grote lijnen overeen. Het belangrijkste verschilpunt is dat bij synchromodaal transport volledige laadeenheden worden behandeld, terwijl het physical internet eerder micro gericht is en zich focust op het behandelen van pakketten (Ambra et al., 2019). De doelen die PI wenst te verwezenlijken, kunnen beschreven worden op basis van drie verschillende niveaus: economisch, milieu en sociaal. Vanuit een economisch perspectief is het behalen van aanzienlijke winsten een gewenst resultaat. Vanuit een milieu perspectief streeft PI ernaar om het wereldwijde energieverbruik, de directe en indirecte vervuiling in verband met logistiek, productie en transport significant te verminderen. Ten slotte is het maatschappelijk doel om de kwaliteit van het leven van de gehele bevolking te verhogen door goederen toegankelijker te

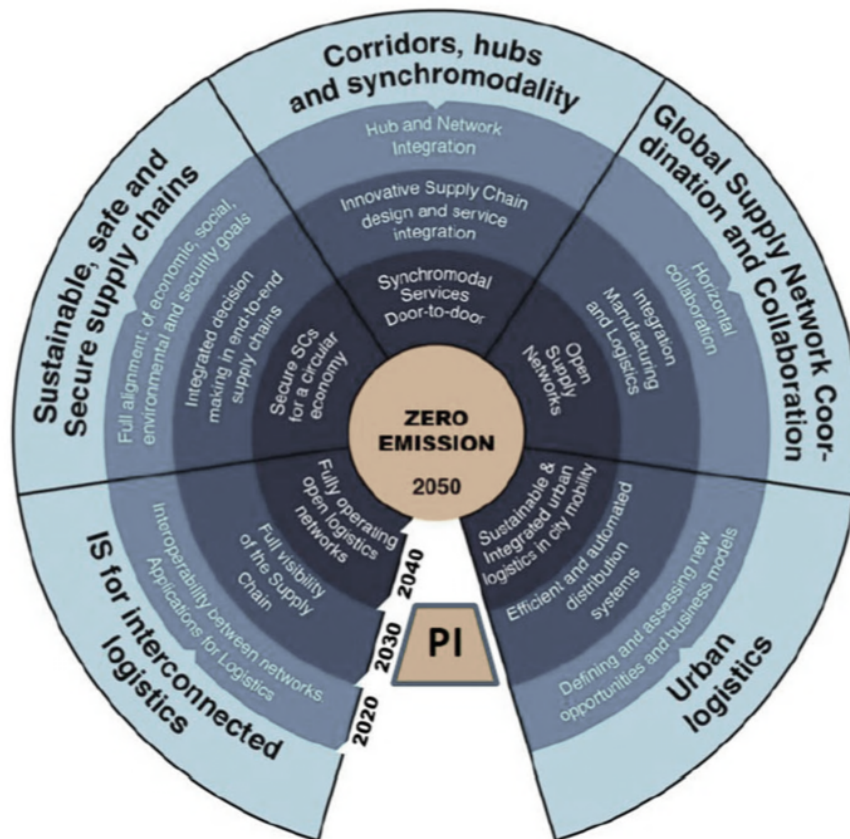
maken. De belangrijkste oorzaken die een negatief effect hebben op deze drie niveaus worden weergegeven in onderstaande tabel 7 (Montreuil, 2011).

Tabel 7: Oorzaken van onduurzaamheid en het effect op de drie niveaus (economisch, milieu, sociaal) (Montreuil, 2011)

Oorzaken	Economisch	Milieu	Sociaal
Het transporteren van lege containers of verpakking	x	x	
Lege containers is een norm eerder dan een uitzondering	x	x	
Populariteit van wegtransport zorgt voor een hoge vraag en uitputting van chauffeurs	x		x
Producten staan meestal stil, worden opgeslagen waar ze niet nodig zijn, maar zijn vaak niet beschikbaar waar ze nodig zijn	x		x
Productie- en opslagfaciliteiten worden slecht gebruikt	x	x	
Zoveel producten worden nooit verkocht, nooit gebruikt	x	x	x
Producten bereiken niet de plaatsen waar ze het meest nodig zijn	x	x	x
Snel en betrouwbaar intermodaal transport is nog steeds een droom	x	x	
Producten in, door en uit steden krijgen is een hele uitdaging	x	x	x
Producten verplaatsen zich onnodig, over de wereld	x	x	x
Netwerken zijn niet veilig of robuust	x		x
Automatisering en technologie zijn moeilijk te rechtvaardigen	x		x
Innovatie wordt beperkt	x	x	x

“De nogal parallelle evolutie van het Physical Internet (PI) en synchromodaal transport biedt een opportuniteit om het huidige niet-duurzame goederenvervoer te verbeteren, door een positieve modale verschuiving van de weg naar het spoor en de binnenwateren teweeg te brengen, en het serviceniveau te verbeteren door productieonderzoek beter te koppelen aan vrachtbeweging” (Ambra et al., 2019). Volgens de routekaart die door het Europese technologieplatform ALICE is opgesteld, moet het physical internet tegen 2030 volledig zijn geïmplementeerd. ALICE is ontwikkeld vanwege de behoefte aan een overkoepelende visie op logistiek vlak en supply chain planning en controle, waarin afzenders en logistieke dienstverleners nauw samenwerken om te komen tot efficiënte supply chain-operaties. In figuur 8 wordt de visie van het physical internet weergegeven en de vijf belangrijkste onderdelen die daar een bijdrage toe leveren. Synchromodaal transport en het physical internet worden dus niet langer beschouwd als twee aparte denkpijlers maar synchromodaliteit zal een groot onderdeel vormen van deze nieuwe visie. De ambitie is het realiseren van comodale transportdiensten op Europees vlak. De stap naar de visie van het physical internet is het synchroniseren van intermodale diensten tussen verschillende transportmodi met logistieke dienstverleners met verschillende snelheden en doorlooptijden. Appartuur en diensten op de verschillende corridors en hubs worden op elkaar afgestemd en geïntegreerd in het netwerk.

De ambitie van de Europese Commissie is om tegen 2030 30% van het goederenvervoer via de weg te verschuiven naar milieuvriendelijkere transportmodi met een lagere maatschappelijke impact, zoals het spoor en de binnenwateren (IWW). Deze verschuiving zou tegen 2050 50% moeten bedragen. Naar aanleiding van deze ambities zijn enkele tussentijdse doelen opgesteld om te komen tot 0% emissie in 2050, gerepresenteerd in figuur 8 (Ambra et al., 2019).



Figuur 8: De doelen opgesteld in ALICE om te komen tot 0% emissie in 2050 (Ambra et al., 2019)

Het feit dat op zoek wordt gegaan naar interconnectievere modellen, zoals het physical internet, duidt erop dat het voordelen biedt ten opzichte van de andere multimodale transportmodellen. Producten worden ontworpen zodanig dat n -containers optimaal worden benut en zo weinig mogelijk ruimte verloren gaat. Ook het aantal fysieke verplaatsingen en opslag worden geminimaliseerd door kennis digitaal te delen en producten zo lokaal mogelijk te materialiseren (Ambra et al., 2019; Montreuil, 2011). De primaire focus van PI ligt op de betrouwbaarheid van het netwerk waarbij er ruimte is voor innovatie (Montreuil, 2011).

2.4. Conclusie

In dit hoofdstuk werd een antwoord gezocht op de eerste deelvraag: "Wat zijn de belangrijkste combinaties van transportmodi en hun kenmerken?". De wijze van transporteren kan opgedeeld worden in drie verschillende combinaties: het intermodaal transport, synchronodaal transport en het physical internet. Al deze combinaties behoren tot de overkoepelende term van multimodaliteit omdat ze allen beroep doen op meer dan één transportmodus. Intermodaal transport wordt vaak

gezien als de voorloper van het synchromodaal transport. De grote evolutie die hier plaatsvond, is de optie tot amodale boeking, waarbij de logistieke dienstverleners zelf de modi voor transport kan bepalen. Het physical internet gaat dan weer hand in hand met synchromodaliteit. Eén van de voorwaarden voor synchromodaal transport is een geïntegreerd netwerk, het physical internet gaat verder dan dat. De eerste formele definitie van de PI werd geïntroduceerd door Montreuil, Meller en Ballot (2013), die het beschrijven als een open wereldwijd logistiek systeem gebaseerd op de fysieke, digitale en operationele interconnectiviteit. Deze combinaties worden uitvoerig besproken in de literatuur. De context die wordt geschetst, is echter altijd degene van een full-truckload, waarbij de truck volledig benut wordt. De vraag die echter gesteld wordt met het alsmaar groeiende e-commerce is hoe deze combinaties opereren binnen minder efficiënte omgevingen, zoals die van less-than-truckload ladingen. In een volgend hoofdstuk zal er vorm worden gegeven aan het begrip less-than-truckload en de uitdagingen die het met zich meebrengt.

Hoofdstuk 3: *Less-than-truckload*

In hoofdstuk drie wordt dieper ingegaan op de tweede deelvraag die gaat als volgt: "Wat is less-than-truckload en wat zijn de belangrijkste uitdagingen?".

3.1. Het concept less-than-truckload

Het leveren van goederen aan de eindklant zorgt voor een belangrijk maar moeilijk proces dat een logistieke manager moet doorlopen. In realiteit is de vraag niet altijd constant en treden fluctuaties op. Dit zorgt ervoor dat de kwantiteit en de frequentie van leveringen onderling verschilt en belangrijke beslissingen gemaakt moeten worden ten aanzien van de distributieplanning (Chu, 2005). Het transporteren van kleinere hoeveelheden leidt tot lagere voorraadkosten maar vereist extra transportkosten. Het transporteren van grotere hoeveelheden met minder frequentie kan daarentegen de transportkosten verlagen, maar verhoogt de voorraadkosten vanwege de noodzaak om hogere voorraadmiveaus te handhaven. Deze beslissing is niet altijd gemakkelijk omdat sommige criteria met betrekking tot kosten en transporttijd elkaar kunnen tegenspreken (Vega et al., 2018).

Wanneer de totale vraag de totale capaciteit van de eigen transportmiddelen overstijgt, kunnen logistieke managers overwegen een externe leverancier in te schakelen (Chu, 2005). Een classificatie is gebaseerd op de volumes: full-truckload transport (FTL) en less-than-truckload transport (LTL). Bij full-truckload wordt een volledig gevulde vrachtwagen getransporteerd waarbij de volledige lading één bedrijf toebehoort (Altan & Özener, 2021). "De voordelen van een full-truckload lading komen voort uit de flexibiliteit die het biedt om zich aan te passen aan een zeer dynamische omgeving en onzekere toekomstige eisen, betrouwbaarheid en lage tarieven in vergelijking met andere vervoerswijzen" (Bektas & Crainic, 2007). Vaak is een bedrijf echter niet bereid om te wachten tot een volledige vrachtwagen gevuld is om zo frequenter te leveren en aan nieuwe klantenvereisten te voldoen. In dat geval spreken we van less-than-truckload waarbij de lading van een bedrijf niet de volledige capaciteit van de vrachtwagen benut en bijgevolg wordt gecombineerd met vracht van andere bedrijven (Altan & Özener, 2021).

3.2. Uitdagingen van less-than-truckload

3.2.1. Samenwerking en vertrouwen

Bedrijven die goederen willen transporteren worden steeds meer geconfronteerd met de toenemende druk om nog winstgevender te zijn, hoewel het drukken van de operationele kosten alsmaar moeilijker wordt. Om aan deze nieuwe druk te voldoen, zowel de groeiende concurrentie als de stijgende klantenvereisten, zijn transportbedrijven genoodzaakt om extern naar oplossingen te zoeken (Wang & Kopfer, 2014).

Zo kunnen afzenders en logistieke dienstverleners beroep doen op samenwerkingen met anderen om hun less-than-truckload ladingen samen te voegen tot een full-truckload. Bedrijven die een horizontale samenwerking aangaan, voeren gelijke operationele activiteiten omdat ze opereren op hetzelfde niveau in de supply chain, ze zijn hierdoor eigenlijk competitie van elkaar (Verdonck, Caris, Ramaekers, & Janssens, 2013). Hun gezamenlijke operationele activiteiten kunnen geoptimaliseerd

worden binnen deze samenwerking, waardoor kosten geëlimineerd worden die bij een individuele werking zouden blijven bestaan. Een dergelijke samenwerking wordt omschreven als een relatie tussen minstens twee partijen, waarbij het doel van alle partijen is om gezamenlijke voordelen op te doen. Bij kleine en middelgrote bedrijven kan het namelijk als een krachtig instrument worden gebruikt om de operationele efficiëntie van alle partijen in de samenwerking te verbeteren (Wang & Kopfer, 2014).

Bedrijven kunnen binnen het hele transportproces echter op verschillende manieren deelnemen aan een *less-than-truckload* samenwerking met anderen. Horizontale samenwerkingen kunnen opgesplitst worden in twee categorieën: *order sharing* en *capacity sharing* (Verdonck et al., 2013). Cruijssen en Salomon (2004) gaan uit van een samenwerking tussen verschillende logistieke dienstverleners, waarbij de samenwerking wordt gezien als het delen van verschillende orders tussen transportbedrijven. Het delen van deze data zorgt ervoor dat een betere allocatie van orders aan transportbedrijven plaatsvindt dan bij de traditionele werkwijze. De simulatiestudie die wordt beschreven in hun onderzoek toont aan dat *order sharing* de transportkosten met 5 tot 15 procent kan drukken. Het grootste effect vindt plaats bij goederen met een lage waarde omdat transportkosten hierbij een groot deel uitmaken van de totale kostprijs. Uit deze paper blijkt ook dat meer voordelen worden gecreëerd wanneer meer transportbedrijven deelnemen in de samenwerking. Dahl en Derigs (2011) voerden een gelijkaardige studie waar ook de methode van gezamenlijke routeplanning wordt gebruikt in de simulatie zoals bij Cruijssen en Salomon (2004). De studie opereert echter in een zeer dynamische omgeving, vanwege express orders. Op basis van een simulatiestudie met gegevens van 50 Europese transporteurs, tonen Dahl en Derigs (2011) aan dat kostenbesparingen tot 13% kunnen worden bereikt bij het toepassen van gezamenlijke routeplanning (Dahl & Derigs, 2011).

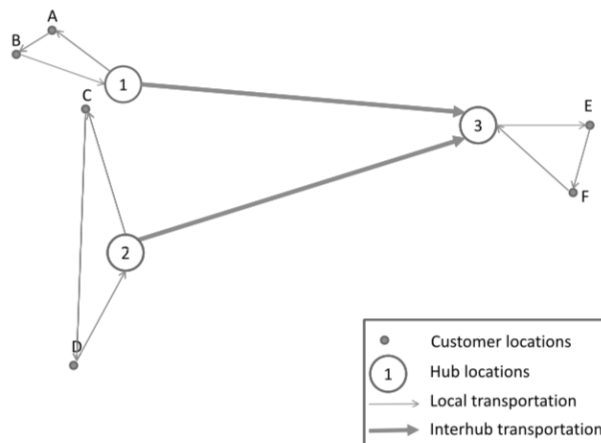
Verder heeft *order sharing* een impact op zowel de klanten die de goederen bestellen, de transportbedrijven zelf en de bevolking. Als gevolg van *order sharing* en de lagere transportkosten kan de prijs voor klanten bijvoorbeeld lager gezet worden. Ook de totale transittijd tot bij de klant kan geminimaliseerd worden door het gebruik van efficiënte routes doordat extra middelen en infrastructuur beschikbaar worden gesteld in de samenwerking, waardoor de servicekwaliteit stijgt (Cruijssen & Salomon, 2004). Het onderzoek van Argyropoulou et al. (2022) focust op de rol van horizontale samenwerking in de context van *last-mile delivery*. Twee real-life scenario's worden besproken: de Britse en Griekse online markt van supermarkten. Het verschil tussen de twee markten vertoont zich in de mate van penetratie van online supermarkten. In het Verenigd Koninkrijk wordt het beshouwd tot één van de snelst groeiende markten met 30% marktpenetratie in 2019. In Griekenland daarentegen bedroeg de marktpenetratie nog geen 10% in 2019 wat wil zeggen dat nog geen 10% van de bevolking zijn boodschappen online deed. Resultaten tonen echter aan dat voordelen in beide gevallen optreden voor alle spelers in de supply chain ondanks het verschil in marktpenetratie. Dit wordt verwezenlijkt door de vermindering van de totale afgelegde afstand die gerealiseerd wordt door het verminderen van de routes die nodig zijn om het leveringsschema te dekken of door middel van consolidatie. "Dit vergroot niet alleen de distributiecapaciteit, maar creëert ook de mogelijkheid om te leveren aan moeilijk bereikbare plaatsen in steden, zoals stadscentra, voetgangersgebieden enzovoort" (Argyropoulou, Zisis, Korfiatis, & Zampou, 2022).

Een negatief effect dat klanten echter kunnen ervaren, is de betrouwbaarheid van de service. Vanwege de hogere vulgraad zijn vrachtwagens gevoeliger voor storingen in het proces zoals congestie en vertragingen. Wanneer een vrachtwagen bijvoorbeeld vertraging oploopt vanwege een file dan zijn de negatieve effecten die gepaard gaan met deze vertraging voelbaar voor alle klanten van de goederen die worden getransporteerd. Bij een lagere vulgraad zijn dus minder pakketten onderhevig aan de negatieve gevolgen van een mogelijke storing op de route van die vrachtwagen. Voor de transportbedrijven zal een deel van hun capaciteit in transportmodi ongebruikt blijven vanwege de efficiëntere bezetting. Om deze reden zullen transportbedrijven andere activiteiten moeten voorzien om hun volledige capaciteit aan transportmodi te benutten. Ten slotte zorgt *order sharing* voor een daling in de externe kosten zoals CO₂-uitstoot, congestie, medische kosten vanwege accidenten, geluidsoverlast en afbraak van het wegennetwerk (Crujssens & Salomon, 2004). In een vragenlijst van Dullaert et al. (2004) blijkt dat 81 procent van de Belgische logistieke dienstverleners geloven in het potentieel dat dergelijke samenwerkingen winstgevendheid een boost kunnen geven. Enkele struikelblokken die echter naar voren komen om dergelijke samenwerkingen aan te gaan, zijn moeilijkheden bij het vinden van een partner, het eerlijk toewijzen van de verwezenlijkte voordelen en het vooraf inschatten van de voordelen (Dullaert, Cools, Crujssens, Fleuren, & Merckx, 2004). Naast samenwerking tussen de logistieke dienstverleners kunnen ook samenwerkingsopportunities ontstaan tussen de afzenders, waarna ze samen één dienstverlener uitkiezen.

In plaats van orders van klanten uit te wisselen, kunnen logistieke dienstverleners ook samenwerken door voertuigcapaciteiten te delen. "Op deze manier kunnen kapitaalinvesteringen in verband met voertuigen worden verdeeld onder partners en kunnen de bezettingsgraden van voertuigen worden verbeterd" (Verdonck et al., 2013). Sprenger en Mönch (2012) beschouwen *capacity sharing* binnen de voedingsindustrie. Verschillende producenten met overlappende klanten en complementaire producten werken horizontaal samen door hun transportmiddelen te delen. Op deze manier willen ze de leveringskosten verlagen en de betrouwbaarheid van hun leveringstermijn garanderen. Door middel van een simulatiestudie waarbij gebruik wordt gemaakt van data van voedselproducenten in Duitsland, is aangetoond dat het delen van capaciteit gunstig is voor de producenten, aangezien dit kan leiden tot vermindering van zowel het aantal afgelegde kilometers als het aantal overschreden leveringstermijnen (Sprenger & Mönch, 2012).

3.2.2. Planning en routing

Less-than-truckload ladingen bezetten over het algemeen minder dan tien procent van de capaciteit van een transportmodus. Om deze zendingen kosteneffectiever te maken, worden verschillende *less-than-truckload* ladingen gebundeld, waardoor de vulgraad van de transportmodi wordt geoptimaliseerd. Het consolideren van verschillende zendingen vindt meestal plaats in de terminals van de logistieke dienstverlener, wat impliceert dat alle aparte zendingen naar de lokale terminal worden getransporteerd. De zendingen worden gesorteerd en vervolgens samengevoegd, om dan getransporteerd te worden naar de volgende terminal. Vanuit de eindterminal worden de goederen dan ten slotte tot bij hun eindbestemming geleverd (figuur 9). *Less-than-truckload* ladingen routeren dus vaak langs meerdere terminals vooraleer ze hun eindbestemming bereiken (Özener, 2019).



Figuur 9: Less-than-truckload network (Özener, 2019)

Bij less-than-truckload transport wordt de totale afgelegde afstand en het gebruik van de transportmodi beïnvloed door twee belangrijke factoren: de netwerkstructuur van de logistieke dienstverlener (locatie van de terminals) en de beslissingen wat betreft de routing over dit netwerk. Deze laatste beslissing is een tactische/operationele beslissing van de vervoerders en kan voor elke groep van zendingen worden aangepast. Het vereist echter het oplossen van verschillende complexe optimalisatieproblemen met een tal van zendingen. Deze taak wordt ervaren als buitengewoon uitdagend maar het effectief oplossen van deze problemen kan leiden tot aanzienlijke besparingen voor de vervoerder (Özener, 2019). Het is dus niet enkel van belang om tussen de verschillende locaties en de terminals de best mogelijke route te bepalen met de beschikbare middelen, en tegelijkertijd de totale afstand te minimaliseren. In veel gevallen worden in de verschillende terminals en locaties ook simultaan goederen geleverd als opgepikt om zo het aantal ritten met een lege transportmodus te reduceren, waardoor efficiëntie stijgt. Dit wordt in de literatuur ook besproken als het consolidatieprobleem. De grootste uitdagingen vinden plaats in de veranderingen van de capaciteiten van elke container door gelijktijdig te laden en te lossen, en het selecteren van het juiste consolidatiepunt en transitpunt om de totale kosten van een container te minimaliseren (Lv, Yang, Zhu, & Li, 2019). Het feit dat gebruik wordt gemaakt van gestandaardiseerde containers, wil zeggen dat er extra kosten gepaard gaan met het sorteren en consolideren van de pakketten bij less-than-truckload ladingen om de container zo efficiënt mogelijk te bezetten. De vraag is echter of de voordelen de nadelen overstijgen. De evolutie richting het physical internet zou deze uitdagingen echter kunnen beperken door de toevoeging van gestandaardiseerde pakketten en pallets om het consolidatieproces te vereenvoudigen en de kosten die hierbij komen kijken te verminderen.

3.2.3. Kosten-/winstallocatie

Het specifieke doel van het samenvoegen van verschillende less-than-truckload ladingen tussen verschillende partners is opdat een herverdeling van de activiteiten zou plaatsvinden, en tot gevolg de totale kosten minder bedragen dan de individuele kosten van elke partner wanneer de ladingen afzonderlijk worden getransporteerd. Het verschil tussen de twee zijn de voordelen of de kostenbesparingen die plaatsvinden onder een dergelijke samenwerking, die verdeeld worden onder

alle partijen binnen de samenwerking op een manier dat de samenwerking voor alle partijen winstgevend is (Wang & Kopfer, 2014).

In theorie kunnen logistieke dienstverleners alle combinaties van ladingen in acht nemen, waardoor het aantal potentiële bundels van ladingen enorm groot is. Het bepalen van de kosten van elk van deze opties, onafhankelijk van andere ladingen is niet eenvoudig. Echter is deze bepaling noodzakelijk om een vraagprijs op te stellen voor de verschillende afzenders die opgenomen zijn in de bundel (Wang & Kopfer, 2014). Het is dus van belang om te bepalen hoe de voordelen juist verdeeld moeten worden onder de verschillende partners, aangezien niet elke partner dezelfde bijdrage heeft in het proces vanwege eigenbelang (Xu, Yu, Zhang, & Liu, 2010). Voorbeelden van ongelijke verdelingen zijn wanneer een logistieke dienstverlener meer middelen beschikbaar stelt dan een andere logistieke dienstverlener, wanneer de lading van een afzender groter is dan die van een andere en dus gepaard gaat met meer handelingskosten, sommige ladingen zullen getransporteerd worden door meer, andere of duurdere transportmodi, de totale afgelegde afstand kan verschillen tussen verschillende partners enzovoort. Al deze elementen zorgen ervoor dat de kosten en bijgevolg de voordelen die de partners verkrijgen, verschillen. Wanneer dus full-truckload wordt getransporteerd via unimodaal transport, zijn er veel minder parameters die in rekening moeten worden gebracht dan wanneer er meerdere partners en verschillende transportmodi aan te pas komen.

3.3. Conclusie

Vaak is een bedrijf niet bereid om te wachten tot een volledige vrachtwagen gevuld is om zo frequenter te leveren en aan nieuwe klantenvereisten te voldoen. In dit geval spreken we van less-than-truckload ladingen. De belangrijkste uitdagingen van dit soort ladingen kunnen opgedeeld worden in drie categorieën; de samenwerking en het vertrouwen dat nodig is tussen de verschillende partijen binnen de supply chain; het plannen en de routes die nodig zijn bij de consolidatie van less-than-truckload ladingen; en het alloceren van de winsten en kosten onder de verschillende partijen. In een volgend hoofdstuk wordt de link gemaakt tussen het voorgaande hoofdstuk en dit hoofdstuk waar we de uitdagingen van synchromodaal transport gaan schetsen en een antwoord gaan formuleren op de vraag welke opportuniteiten en uitdagingen synchromodaal transport kent in een less-than-truckload context.

Hoofdstuk 4: Synchronodaal transport in een less-than-truckload context

In hoofdstuk vier wordt naar een antwoord gezocht op de derde en vierde deelvraag: "Wat zijn de belangrijkste uitdagingen van synchronodaal transport?" en "Welke opportuniteiten en uitdagingen kent synchronodaal transport in een *less-than-truckload* context?". Eerst wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste groepen van uitdagingen binnen een synchronodale omgeving. Deze worden vervolgens toegelicht. Voor de vierde en laatste deelvraag wordt onderzocht hoe deze uitdagingen in relatie staan met de uitdagingen van less-than-truckload transport. Hierbij wordt gefocust op overeenkomsten, verschillen en opportuniteiten die een synchronodale omgeving te bieden heeft binnen een context van less-than-truckload transport.

4.1. Uitdagingen van synchronodaal transport

Om ervoor te zorgen dat de meest relevante en allesomvattende literatuur in verband met synchronodaal transport wordt besproken, werden papers die ingaan op specifieke modellen en enkel modelspecifieke bevindingen bespreken, genegeerd. Vervolgens werden de verschillende uitdagingen samengenomen en onderverdeeld in vijf overkoepelende groepen. Tabel 8 toont deze resultaten: de potentiële uitdagingen worden weergegeven in de kolommen. De literatuur is opgelijst in chronologische volgorde op basis van het publicatiejaar. De uitdagingen zijn geordend van meest voorkomend in de literatuur naar minst voorkomend. De volgende paragrafen zullen de verschillende uitdagingen toelichten.

Tabel 8: Potentiële uitdagingen van synchronodaal transport in de literatuur

Bron	Samenwerking/ Vertrouwen	Planning/ Routing	Regelgevingen	Infrastructuur	Kosten-/ Winstallocatie
(Pleszko, 2012)	x		x	x	
(Behdani et al., 2014)		x		x	x
(SteadieSeifi et al., 2014)		x		x	
(van Riessen et al., 2015)	x	x			
(Tavasszy et al., 2015)	x	x	x	x	x
(Pfoser et al., 2016)	x	x	x	x	x
(Zhang & Pel, 2016)	x				
(Singh, Sinderen, & Wieringa, 2018)	x	x	x	x	
(Ambra et al., 2019)		x	x		

(Giusti et al., 2019)	x				
(Pfoser et al., 2021)	x	x	x		x

4.1.1. Samenwerking/vertrouwen

Pfoser et al. (2016) identificeren wederzijds vertrouwen en een goede samenwerking als één van de belangrijkste succesfactoren van synchromodaal transport vanwege de nood aan zowel verticale als horizontale integratie. Ook Zang en Pel (2016) beschrijven het doel van synchromodaal transport, zijnde de integratie en samenwerking tussen de verschillende logistieke partners en de verschillende modaliteiten om een grotere vrijheid en flexibiliteit te bieden aan de logistieke dienstverleners bij het maken van beslissingen en tegelijk een groter aantal vervoersalternatieven te creëren voor de verschillende afzenders (Giusti et al., 2019; Zhang & Pel, 2016). De verschillende operatoren in dergelijke netwerken zijn vaak indirect of direct met elkaar verbonden, waarbij relaties ontstaan door het simultaan verplaatsen van hun goederen maar ook de vereiste van informatie-uitwisseling (Giusti et al., 2019). De uitdaging zit zich echter in het feit dat dergelijke samenwerkingen vaak plaatsvinden tussen afzenders en logistieke dienstverleners die concurrenten zijn van elkaar (Pfoser et al., 2021). Elke keten in een synchromodaal netwerk bestaat uit verschillende bedrijven met verschillen in marktposities en bedrijfsmodellen die leiden tot verschillen in vooropgestelde doelen, middelen en capaciteiten. Het coördineren van al deze partijen in multimodale ketens wordt gezien als een grote uitdaging (Tavasszy et al., 2015). Samenwerkingen tussen concurrerende partijen maken het moeilijk om voordelen van dergelijke samenwerkingen prioritair te stellen aan de concurrentie (Pfoser et al., 2016). Verschillende auteurs hebben het hier over een mindshift die moet plaatsvinden van *mode-based* naar *service-based* om dit te realiseren (Pfoser et al., 2021; Tavasszy et al., 2015; van Riessen et al., 2015). De kenmerkende factor van amodaal boeken bij synchromodaal transport zorgt ervoor dat klanten niet langer een transportmodus boeken maar eerder een dienst. Een vertrekpunt en eindbestemming, de prijs en de duurtijd wordt ingegeven, maar die activiteiten die plaatsvinden om dit te realiseren worden overgelaten aan de logistieke dienstverlener (Pfoser et al., 2016). Om synchromodaal transport te doen werken, moet er afgestapt worden van de vereiste om vooraf een modus vast te leggen tegen een prijs die vaststaat. Ambra et al. (2019) beschrijven dit als een culture mindshift van voorspellen en voorbereiden naar aanvoelen en reageren.

Maar niet alle informatie is openbaar, waardoor bedrijven soms bereid moeten zijn om private informatie te delen indien zij optimaal willen werken (Juncker, Phillipson, Bruijns, & Sangers, 2018). De Juncker et al. (2018) gaan uit van drie modellen, waarbij twee gebaseerd zijn op enkel publieke informatie en de derde op volledige informatie. Model één stelt een intermodaal netwerk voor waarbij enkel publieke informatie beschikbaar is. Model twee baseert zich ook enkel op publieke informatie maar heeft wel een synchromodaal karakter en past zich dus dynamisch aan aan real-time publieke informatie. Tot slot is er model drie met een synchromodaal karakter en toegang tot zowel publieke als private informatie. Dit laatste model met volledige informatie resulteert in optimalere routes op

basis van de kosten per klant en de transittijd ten opzichte van model één en twee. Dit betekent dat de parameters van het netwerk en het netwerk zelf minder invloed hebben op deze methode (Juncker et al., 2018).

Wanneer deze obstakels succesvol worden overwonnen, is het echter nog niet gedaan. De toenemende beschikbaarheid van informatie heeft gezorgd voor meer integratie en een betere afstemming van de processen. De uitdaging is de fragmentatie van de data. Alle informatie wordt beheerd door verschillende partijen in de samenwerking. Om deze reden wordt data op een niet gestandaardiseerde manier en vaak met enige vertraging uitgewisseld. Bij de uitwisseling van private informatie wordt data vaak niet als geheel maar in stukjes verzonden of zelfs gecryptiseerd om de privacy te behouden (Ciriani et al., 2007). Het ontcijferen van dergelijke data vraagt natuurlijk tijd en aangezien informatie vaak tijdsgevoelig is, vanwege beslissingen op basis van real-time informatie, is er nood aan flexibele en gedeelde ICT-platformen (Pfoser et al., 2021; Singh et al., 2018; Tavasszy et al., 2015). Pleszko (2012) voegt hieraan toe dat er naast het gebrek aan een gestandaardiseerde data-uitwisseling vaak een ongelijke inzet optreedt tussen de samenwerkende partijen. Dergelijke obstakels moeten overwonnen worden wanneer het idee van synchronodaliteit gerealiseerd wenst te worden (Pleszko, 2012).

4.1.2. Planning/Routering

Unimodaal wegtransport wordt vaak gezien als een flexibele optie, omdat niet altijd voldaan moet worden aan een vast tijdschema en het optreden van vaste routes die zorgen voor een bepaald leereffect wat resulteert in een hogere leverfrequentie (Bektas & Crainic, 2007). Bij synchronodaal transport wordt gesproken van een dynamische omgeving door de veranderingen die kunnen optreden op basis van real-time informatie (Ambra et al., 2019; Pfoser et al., 2021). Deze dynamische omgeving, gecreëerd door het herplannen op basis van real-time informatie, maakt dat besluitvorming een uitdagende taak vormt in een synchronodaal netwerk (Pfoser et al., 2021). Het systeem streeft dus naar flexibiliteit, waarbij het mogelijk is om snel veranderingen door te voeren op basis van nieuwe en dynamische informatie (Ambra et al., 2019). Een beperking in deze flexibiliteit zijn de tijdsgebonden transportmodi waar synchronodaliteit mee te maken heeft zoals het spoor, schepvracht maar ook transport via de lucht. Daarnaast moet rekening gehouden worden met andere gebruikers van deze service, zo kan bijvoorbeeld maar één trein per treinpad opereren. Bij unimodaal wegtransport kunnen er bij wijze van spreken een onbeperkt aantal gebruikers zich op de weg bevinden, het zal echter wel resulteren in meer congestie maar het is fysiek niet onmogelijk. Wanneer meerdere treinen zich op hetzelfde spoor bevinden, bijvoorbeeld in de tegengestelde richting, dan is het fysiek niet mogelijk om verder te gaan. Dit geldt ook voor schepen die elkaar moeten passeren op wateren maar waarbij de grootte van de schepen dit niet toelaat. Bij deze transportmodi zijn er dus meer factoren die in rekening gebracht moeten worden dan bij unimodaal wegtransport (Ambra et al., 2019; Behdani et al., 2014).

Klantenvereisten, drukke routes en de beschikbare middelen en transportmodi moeten dus geëvalueerd worden (Pfoser et al., 2016). Tactische planningsproblemen hebben te maken met het optimaal benutten van de gegeven infrastructuur door diensten en bijbehorende transportmodi te

kiezen, hun capaciteiten toe te wijzen aan bestellingen en hun routes en frequentie te plannen (SteadieSeifi et al., 2014). Logistieke bedrijven moeten identificeren welke routes en corridors het meest geschikt zijn op basis van volumes en mogelijke storingen (Singh et al., 2018). Infrastructuur en diensten moeten flexibele oplossingen bieden voor het omgaan met onzekerheid, met behoud van efficiëntie en betrouwbaarheid. "Naast het overwegen van de beste combinatie van infrastructuur en services om hoge inkomsten te genereren, is het van belang om in gedachten te houden dat synchro-modale netwerken gebaseerd zijn op veerkracht en dat inkomsten sterk verband houden met hoe wordt omgegaan met onzekerheid" (Giusti et al., 2019). Het aanpakken van de aspecten op real-time niveau zoals verstoringen en verkeersopstoppingen zorgen voor de realisatie van veerkrachtige netwerken zoals het synchro-modaal transport. Het is echter de correctheid, snelheid en efficiëntie met hoe wordt gereageerd op dergelijke dynamische elementen die bepaalt hoe gunstig de uitkomst zal zijn. Deze taak wordt ervaren als buitengewoon uitdagend maar het effectief oplossen van deze problemen kan leiden tot aanzienlijke besparingen (Giusti et al., 2019). Bovendien moet het servicenetwerk zo worden ontworpen, dat het de routes bepaalt binnen een netwerk van meerdere transportmodi, evenals de timing en het schema van de modaliteit voor elke corridor, samen met de capaciteit van elke modus (Tavasszy et al., 2015). Operationele planning richt zich op de toewijzing van beschikbare middelen en wordt een paar dagen of weken van tevoren gedaan, en in sommige gevallen op het laatst mogelijke moment. De toewijzing van de beschikbare middelen aan de verschillende activiteiten vormt de eerste fase van de planning, maar nieuwe kennis dient in rekening te worden gebracht voor de definitieve planning. Het ultieme doel op operationeel niveau is om zo correct mogelijk aan de vraag te voldoen. Real-time planning is gericht op het opnieuw plannen van activiteiten. Op dit planningsniveau speelt real-time informatie een belangrijke rol. De hoeveelheid data en de noodzaak om snel beslissingen te nemen, verhogen de complexiteit (Giusti et al., 2019). Prognoses en simulaties zijn essentieel om alternatieve routes te identificeren en transportprestaties te optimaliseren, zodanig dat er snel gereageerd kan worden op storingen (Pfoser et al., 2016).

Het gebruik van spoor of scheepsvervoer zorgt dus voor extra uitdagingen zoals de inflexibiliteit die gepaard gaat met de tijdsgebonden schema's en de afhankelijkheid van andere gebruikers. Dit is contradictorisch met de flexibiliteit die een synchro-modaal netwerk vereist om optimaal te opereren. Wanneer nieuwe informatie binnenstroomt onder synchro-modaal transport, zoals een optie voor het oppikken van een extra less-than-truckload lading, is er een mogelijkheid dat hier niet optimaal op gereageerd kan worden vanwege de transportmodus die op dat moment in gebruik is. De extra lading zal in dat geval bij de volgende groep zendingen worden bijgepland. Hetzelfde geldt wanneer een lading omwille van bepaalde omstandigheden geannuleerd wordt. Het is duidelijk dat hier een trade-off gemaakt moet worden tussen de afstand naar de terminal en de extra capaciteit die dit met zich meebrengt en de voordelen in kosten en opbrengsten anderszijds. Een belangrijke vraag die hier gesteld moet worden, is of het voordeliger is om de extra afstand naar de terminal te volbrengen of een rechtstreekse trip met een lage vulgraad. Al deze vragen worden in de literatuur omschreven als het consolidatieprobleem. Het is dus niet enkel van belang om tussen de verschillende locaties en de terminals de best mogelijke route te bepalen. De grootste uitdagingen vinden plaats in de veranderingen van de capaciteiten door het simultaan laden en lossen van goederen in een terminal

en het selecteren van het juiste consolidatiepunt en transitpunt om de totale kosten van een container te minimaliseren (Lv et al., 2019).

Van Riessen et al. (2015) identificeren drie hoofdredenen die aan de basis van deze uitdaging liggen. Ten eerste bestaan er nog geen geschikte methoden om een geïntegreerd netwerkplan op te stellen. Ten tweede gebeurt het real-time aanpassen van de planning aan mogelijke vertragingen en andere wijzigingen handmatig, door operators die zich richten op specifieke corridors. Tot slot zorgen de eisen opgelegd door de klant bij een transportopdracht ervoor dat slechts beperkte flexibiliteit optreedt om tussen modi en routes te schakelen. De netwerkcoördinator kan hierdoor de voordelen van een synchromodale planning niet realiseren. Het gevolg van deze opsomming is dat synchromodaal transport nog steeds per corridor wordt bekeken in plaats van het netwerk in zijn geheel (van Riessen et al., 2015)

4.1.3. Regelgevingen

Ambra et al. (2019) omschrijven deze uitdaging als degene met de meeste groei mogelijkheden om synchromodaliteit te realiseren en de eventuele shift naar het physical internet te maken. Twee belangrijke aspecten zijn het mogelijk maken van transacties waarbij amodaal boeken wordt geïntegreerd (Pfooser et al., 2021) en aangepaste regelgevingen die resulteren in een betere operationele afstemming van de verschillende transportmodi (Ambra et al., 2019). Een gevolg van amodaal boeken is het feit dat de specifieke transportservice niet op voorhand vaststaat, waardoor prijzen niet reeds op voorhand bepaald kunnen worden. De vraag naar service wordt uitgedrukt door de vereiste servicekwaliteit of servicevoorkeur. Er zijn daarom nieuwe soorten contracten nodig, waarbij de afzenders de transportwijze niet bepalen maar logistieke dienstverleners de vrijheid geven om deze *last-minute* te bepalen (Pfooser et al., 2021; Tavasszy et al., 2015). Een allesomvattend wettelijk en politiek kader vormen de basis voor de succesfactoren van synchromodaal transport. Voor een goed functionerend synchromodaal netwerk is een geharmoniseerde regelgeving onmisbaar (Pfooser et al., 2016; Pleszko, 2012). Er gelden namelijk vaak verschillende politieke contexten in verschillende landen en zelfs tussen transportmodi onderling, zoals de afmetingen en gewichten van containers, verplichte documentatie zoals een CMR enzovoort (Bontekoning, Macharis, & Trip, 2004). "Een andere belangrijke juridische kwestie is die van de aansprakelijkheid voor het transport, met name voor eventuele vertraging, verlies of schade, die niet altijd duidelijk is wanneer de modus spontaan wordt gewijzigd" (Pfooser et al., 2016). Bij samenwerkingen waarbij er meerdere afzenders en logistieke dienstverleners toetreden, is het niet altijd duidelijk wie aansprakelijk wordt gesteld bij het optreden van onvoorziene kosten door oorzaken zoals vertragingen, schade of verlies aan de goederen. Wordt de verantwoordelijkheid gelegd bij de beslissingnemer, de logistieke dienstverlener van de desbetreffende transportmodus, of bij de klant waarvoor de beslissing is omgedraaid? Er treedt duidelijk veel verwarring op wanneer dergelijke storingen zich voordoen, waardoor de nood ontstaat aan eenduidige regels rondom deze aansprakelijkheid.

"Horizontale en verticale samenwerking tussen netwerkpartners is de sleutel voor het geïntegreerde beeld, maar wordt momenteel beperkt door antitrustwetten en toetredingsdrempels" (Pfooser et al., 2021). Horizontale integratie in een synchromodaal netwerk wordt niet alleen beperkt door het

wantrouwen in samenwerkingen, maar vaak is het niet toegelaten om in dergelijke samenwerkingen te stappen vanwege antitrustbeleid en -regelgeving. Hier moeten overheden ingrijpen en rechtszekerheid creëren voor afzenders en logistieke dienstverleners om synchromodaliteit mogelijk te maken. In principe moet er rechtszekerheid zijn voor alle betrokken partijen (Pfooser et al., 2021; Tavasszy et al., 2015).

Er kan geconcludeerd worden dat een beter beleid nodig is op twee niveaus; op overheidsniveau en op bedrijfsniveau. Op overheidsniveau wil dit zeggen de ontwikkeling van infrastructuur, allesomvattende contracten en eenduidige regels (Ambra et al., 2019; Pfooser et al., 2021; Pfooser et al., 2016; Tavasszy et al., 2015). Singh et al. (2018) voegen hieraan toe dat de overheid kan opteren voor het invoeren van fiscale stimuleringsmaatregelen voor partijen die gebruik maken van duurzame logistiek. Zo worden bedrijven financieel aangespoord om voor de duurzamere optie te kiezen (Singh et al., 2018). Op bedrijfsniveau is dit de ontwikkeling van wederzijds vertrouwen en samenwerking in plaats van concurrentie (Pfooser et al., 2021; Singh et al., 2018; Tavasszy et al., 2015)

4.1.4. Infrastructuur

De basis van een goede planning en routing is een goede infrastructuur. "De locaties van de havens en de verschillende productielocaties zijn van invloed op de configuratie van het transportnetwerk en de efficiëntie ervan" (Pfooser et al., 2016). Wanneer deze locaties centraal in het geografische netwerk gelegen zijn, zullen de afstanden en kosten kleiner zijn dan op ongunstige en afgelegen plaatsen in het netwerk. Maar ook beslissingen wat betreft de intermodale terminals zijn van belang, zoals de locaties van de terminals, de capaciteit, welke te gebruiken, bezetting van werknemers, nodige materiële middelen enzovoort. "Intermodale terminals omvatten operaties met een hoog volume, die hoge investeringskosten en bezettingsgraad vereisen, waardoor in veel gevallen het aantal intermodale terminals schaars is en hun ligging verspreid" (Kordnejad, 2014). Singh et al. (2018) onderzochten de drijvende krachten achter een succesvolle implementatie van een synchromodaal netwerk. Ze identificeerden drie belangrijke vereisten; een goede samenwerking tussen alle partijen en de juiste IT-ondersteuning zoals reeds werd aangehaald in de voorgaande uitdagingen. Bijkomend identificeren ze ook een geavanceerde fysieke infrastructuur als voorwaarde (Singh et al., 2018). Afgezien van de verscheidenheid aan transportparameters wordt onvoldoende infrastructuur vaak gezien als een obstakel voor het idee van synchromodaliteit (Pleszko, 2012).

Heel wat strategische uitdagingen gaan over de investeringsbeslissingen die gemaakt moeten worden inzake de infrastructuur (SteadieSeifi et al., 2014). Op strategisch niveau wordt gefocust op beslissingen die te maken hebben met het ontwerp van het fysieke infrastructuurnetwerk: de locatie en het aantal terminals, type en hoeveelheid apparatuur, capaciteit van lijnen, de klantzonen die bediend zullen worden enzovoort (Behdani et al., 2014; Bontekoning et al., 2004; Crainic & Kim, 2007; Li, Negenborn, & Schutter, 2015; Tavasszy et al., 2015). Het algemene doel is het verkrijgen van een aantrekkelijke benutting van deze infrastructuur die wordt gerealiseerd door transportstromen te bundelen tot synchromodale transportstromen (Pfooser et al., 2016).

4.1.5. Kosten-/winstallocatie

Binnen een synchromodaal transportnetwerk zijn prijsstelling, kosten en service belangrijke aspecten (Pfooser et al., 2016). De "*service-based*" benadering die gehanteerd wordt bij synchromodaal transport verschilt wezenlijk van het traditionele "*mode-based*" tariefontwerp (Behdani et al., 2014; Pfooser et al., 2021; Tavasszy et al., 2015). Onder *mode-based* wordt door de klant vooraf een modi vastgelegd tegen een vooropgestelde prijs, waarbij onder *service-based* de prijs constant fluctueert door het reageren van de logistieke dienstverlener op real-time informatie. Deze nieuwe prijsaanpak kan een uitdagende taak vormen voor de logistieke dienstverlener aangezien er verschillende transportmodi zijn waarbij een verschil in flexibiliteit en doorlooptijden optreedt (Pfooser et al., 2021). De prijszetting van synchromodale diensten is vrij complex vanwege amodaal boeken. De afzender/klant boekt enkel een dienst met vastgesteld prijs- en kwaliteitseisen, wat de logistieke dienstverlener de vrijheid geeft om beslissingen te maken rond de wijze van transport op basis van de klantenvereisten en de beschikbaarheid van elke modus. Omdat de transportmodi en de specifieke route niet vooraf bepaald zijn, is het lastig om een prijs vast te stellen (Behdani et al., 2014; Pfooser et al., 2016). Aan de andere kant hebben klanten graag zekerheid om de prijs vooraf te kennen (Pfooser et al., 2016).

"Synchromodale bedrijfsmodellen moeten methoden voor winst- en verliesverdeling omvatten om voordelen en kosten eerlijk over de verschillende partners te verdelen. Daarnaast moet het ook stimulansen en transparante samenwerkingsovereenkomsten bieden om deel te nemen aan het synchromodale netwerk" (Pfooser et al., 2021). Behdani et al. (2014) merkten op dat hoewel afzenders potentieel baat kunnen hebben bij een goedkoper en betrouwbaar synchromodaal netwerk, de meest waarschijnlijke voordelen van synchromodaliteit de logistieke dienstverleners echter lijken tegemoet te komen. Om afzenders te betrekken, zou een deel van de financiële voordelen via een eerlijk prijssysteem overgedragen moeten worden van de logistieke dienstverleners naar de afzenders (Behdani et al., 2014). Behdani et al. (2014) stellen ook voor om partijen met overeenkomstige contractuele relaties en *incentives* te groeperen in een samenwerking. Vanwege eigenbelang treedt vaak assymetrische informatie op, waarbij een partij meer of andere informatie heeft dan de andere partijen, wat leidt tot een inefficiënt netwerk. Door partners met gelijkaardige doelen en redenen samen te laten werken, wordt de kans op slagen verhoogd (Behdani et al., 2014). Transport moeten tegen een lagere of minimaal dezelfde prijs als unimodaal wegtransport worden uitgevoerd. "Ook kwaliteit en de aangeboden service (zoals tijdige levering, betrouwbaarheid en flexibiliteit) moeten aansluiten bij de wensen van de klant, anders is synchromodaliteit geen concurrerend logistiek concept" (Pfooser et al., 2016). Het is bij serviceprijzen van belang om een afweging te maken tussen de kwaliteit van de service (bijvoorbeeld betrouwbaarheid, snelheid, duurzaamheid) en de operationele kosten van de verschillende modaliteiten (Behdani et al., 2014).

4.2. De relatie tussen synchromodaliteit en less-than-truckload transport

4.2.1. Een uitdagende relatie

Het belangrijkste element van synchromodaal transport is de integratie tussen partners van transportdiensten met verschillende modaliteiten op basis van real-time informatie. Wijzigingen in het netwerk moeten aangebracht worden om een synchromodaal systeem voor less-than-truckload

transport te creëren. Less-than-truckload ladingen in een synchronodale context moeten niet enkel binnen elke transportmodus goed op elkaar afgestemd zijn, i.e. verticale samenwerking, maar ook een goede samenwerking van de verschillende partijen over alle transportmodi heen zijn van belang, i.e. horizontale samenwerking. Samenwerking vereist het delen van informatie tussen alle betrokken organisaties, zelfs als ze concurrenten zijn van elkaar. "Voor het beheer van een dergelijk complex netwerk stellen sommige auteurs de implementatie van een neutrale netwerkorchestrator voor als (centrale) controletoren, die de middelen van de deelnemende organisaties effectief structureert, bundelt en benut" (Pfooser et al., 2021). Deze neutrale entiteit zou instaan voor het beheer van het synchronodale netwerk door alle gegevens en informatie over en van de deelnemende partijen binnen het netwerk te verzamelen. Een neutraal element zorgt ervoor dat het verschil in machtsposities, die gepaard gaan met samenwerkingen tussen competitieve partijen, wordt geëlimineerd. Op deze manier kunnen vrachtstromen om de meest efficiënte manier worden geconsolideerd en toegewezen aan de best beschikbare transportmodus. Informatie- en communicatietechnologie (ICT) speelt een belangrijke rol bij het leveren van hoogwaardige en gestandaardiseerde data voor real-time schakelen. Deze platformen moeten verschillende soorten gegevens kunnen verwerken, zoals informatie over de weersomstandigheden, verkeersinformatie of vrachtlocatie (Pfooser et al., 2021).

De shift van *mode-based* boeken naar *service-based* of amodaal boeken zorgt ervoor dat klanten van logistieke dienstverleners niet langer transportmodi kunnen vastzetten maar wel vereisten kunnen opleggen wat betreft de levertijd, prijs, vertrekpunt en eindbestemming enzovoort (Pfooser et al., 2016). Dit zorgt ervoor dat niet alle less-than-truckload ladingen samengevoegd kunnen worden. Klantenvereisten kunnen namelijk verschillen, waardoor sommige afzenders langere levertermijnen toelaten dan anderen, de vertrekpunten of eindbestemmingen te ver uit elkaar liggen, andere prijsvereisten enzovoort. Het is van belang dat de vereisten van de verschillende ladingen die worden samengezet, overeenkomen. Binnen een synchronodaal netwerk worden beslissingen namelijk genomen voor de volledige laadeenheid in zijn geheel. De verschillende pakketten worden dus niet afzonderlijk beschouwd zoals het geval is binnen het physical internet. Wanneer een extra LTL-lading het systeem binnenkomt, is het noodzakelijk om na te gaan wat de klantenvereisten zijn en of deze overeenkomen met andere ladingen. Pas dan kan de beslissing worden gemaakt op basis van deze real-time informatie om deze extra lading toe te wijzen aan een truck. Bij less-than-truckload transport via unimodaal wegtransport is het bijvoorbeeld wel mogelijk om ladingen met verschillende eindbestemmingen te consolideren. De flexibiliteit van transport via de weg, door middel van een gebrek aan vaste tijdschema's en infrastructuur, zorgt ervoor dat het mogelijk is om tijdens het transport tussentijdse stops te maken.

Zoals eerder besproken als een uitdaging van synchronodaal transport is aansprakelijkheid tijdens het transport ook hoogrelevant bij less-than-truckload. Naast het feit dat er meerdere transportmodi worden gebruikt, bestaat een container die getransporteerd wordt ook nog eens uit goederen van meerdere klanten, waardoor het probleem rond aansprakelijkheid optreedt in twee richtingen.

Zowel bij synchronodaliteit als less-than-truckload transport kwamen prijsstrategieën ook regelmatig aan bod als zijnde een uitdaging. Klanten of afzenders hebben graag zekerheid en willen

daarom graag vooraf op de hoogte zijn van de meest exact mogelijke prijs die het hun zal kosten (Pfooser et al., 2016). Door het reageren op real-time informatie kunnen *last-minute* echter veranderingen doorgevoerd worden waardoor er veranderingen kunnen optreden in de kosten. De calculatie van de kosten en voordelen in een samenwerking zijn vaak complex en niet volledig transparant. Een truckload behandelt verschillende pakketten met allemaal verschillende afzenders, waarbij ook nog eens gebruik wordt gemaakt van verschillende logistieke dienstverleners aangezien meer dan één transportmodus wordt gebruikt. Niet iedereen in de less-than-truckload context heeft namelijk vergelijkbare zendingen op basis van grootte of gewicht. Andere verschillen kunnen optreden in de afstand die wordt afgelegd per pakket van het vertrekpunt naar het consolidatiepunt of de *last-mile* afstand van consolidatiepunt naar eindbestemming. Tot slot worden in dergelijke samenwerkingen middelen vaak ter beschikking gesteld voor gebruik. Niet elke partij zal een even grote inbreng hebben binnen deze samenwerking, waardoor dergelijke factoren in rekening gebracht moeten worden bij de calculatie van de kosten en voordelen.

4.2.2. Een ondersteunende relatie

Door het gemak van e-commerce is een trend ontstaan om steeds frequenter, maar in kleinere hoeveelheden te bestellen. Deze stijging in het aantal bestellingen en als het gevolg het aantal less-than-truckload ladingen legt extra druk op het transportnetwerk (Linderoth, 2020). Als er sprake is van less-than-truckload transport al dan niet binnen een synchronodale setting, worden verschillende less-than-truckload ladingen samengevoegd. De toevoeging van synchronodaal transport echter is het feit dat gebruikt wordt gemaakt van transportmodi waarbij de capaciteit ver boven de capaciteit van een vrachtwagen ligt (Altan & Özener, 2021). De verschillende partijen van less-than-truckload transport kunnen binnen een synchronodale setting dus genieten van schaalvoordelen wanneer een betere bezetting van de middelen plaatsvindt door het samenvoegen van LTL-ladingen. Synchronodaliteit gaat gepaard met een optimalisatie op het vlak van middelen wegens een hoger aantal alternatieve routes en een betere optimalisatie als gevolg van een geïntegreerd synchronodaal karakter (Pfooser et al., 2021). Een betere bezetting betekent minder druk op de infrastructuur, de omgeving en het volledige transportnetwerk tot gevolg.

De toenemende druk die werd ervaren in de logistieke sector heeft ervoor gezorgd dat partijen zich genoodzaakt voelden om enkele concrete doelen te formuleren met als doel een duurzamere wereld. Zo is er de ambitie van de Europese Commissie om tegen 2030 30% van het goederenvervoer via de weg te verschuiven naar milieuvriendelijkere transportmodi met een lagere maatschappelijke impact, zoals het spoor en de binnenwateren (IWW). Een vaak gebruikte term die wordt gebruikt om dit te beschrijven is de modale shift (Ambra et al., 2019). Synchronodaliteit opteert voor transport via het spoor of water voor het lange-afstandsgedeelte van het transport en enkel bij het samenbrengen van de goederen in de beginfase en de *last-mile delivery* wordt transport via de weg gebruikt. Synchronodaal transport in een less-than-truckload context kan echter in een zeer brede zin opgevat worden. Grote hoeveelheden die naar steden worden getransporteerd via spoort/binnenvaart/openbaar vervoer kunnen vervolgens lokaal verder gedistribueerd worden via een fietscourier of kleine elektrische bestelwagens. Dit uitgangspunt zorgt voor een positieve stap richting het vooropgestelde doel. Deze modale shift zorgt voor een lagere impact op het milieu en

de omgeving zoals lagere emissies en andere externe kosten (congestie geluid, etc.). Maar ook de bereikbaarheid ligt hoger in de zin dat LTL-ladingen nu ook die gebieden kunnen beleveren die naast unimodaal wegtransport andere transportmodi nodig hebben, omdat het vetrek- en eindpunt bijvoorbeeld wordt gescheiden door wateren.

Wanneer er nieuwe informatie binnenstroomt onder synchromodaal transport of het physical internet kan hier accuut en correct op gereageerd worden. Een optie voor het oppikken en toevoegen van een extra less-than-truckload lading aan een reeds bestaande transportketen is daarom mogelijk wanneer de klantenvereisten overeenkomen en de vetrek- en eindpunten min of meer overeenkomen. Hetzelfde geldt wanneer een lading omwille van bepaalde omstandigheden geannuleerd wordt. Wanneer deze informatie binnenkomt, zorgt de synchromodale setting ervoor dat er real-time geherrouteerd kan worden, zodat niet onnodig naar een bepaalde locatie gereden wordt. Omdat intermodaal transport real-time informatie niet in rekening brengt, zal hier op geen enkel moment flexibel gereageerd kunnen worden op eventuele aanpassingen in de transit- of consolidatiepunten.

Hoofdstuk 5: Conclusie

De nieuwe en digitale vorm van samenleven brengt nieuwe uitdagingen en opportuniteiten met zich mee. E-commerce wint op zowel Belgisch, Europees als wereldwijd vlak aan belang (Comeos, 2020; Cramer-Flood, 2020; Evenepoel, 2021; Smith, 2021). Door de prijs, het gemak, het brede assortiment en de snelle leveringsperiode van e-commerce (Comeos, 2020) is een trend ontstaan om steeds frequenter, maar in kleinere hoeveelheden te bestellen (Linderoth, 2020). Deze stijging in het aantal bestellingen legt extra druk op het transportnetwerk, waardoor bedrijven zoveel mogelijk aan de vraag proberen te beantwoorden door hun supply chain zo flexibel mogelijk te maken. Dit heeft als gevolg dat meer en meer goederen worden uitgevoerd via less-than-truckload (Smith, 2021). Less-than-truckload betekent dat de lading op zichzelf niet de volledige capaciteit van de truck benut en dat er dus tot gevolg inefficiënt wordt getransporteerd indien de lading op zichzelf getransporteerd wordt (Linderoth, 2020). Meer pakketjes betekenen meer leveringen wat een negatief effect heeft op het milieu (Todts, 2018) en andere externe factoren (Behdani et al., 2014; van Lier, 2014). Om de druk op, en de impact van het transportnetwerk te verminderen als gevolg van e-commerce, de kortere leveringsorders en hogere klantverwachtingen, wordt er gezocht naar innovatieve en creatieve oplossingen (Lyu et al., 2019). Een gegeven waar op ingespeeld kan worden, zijn de verschillende combinaties van transportmodi, meer bepaald op welke wijze goederen doorheen de supply chain bewegen (Meers et al., 2017). Nog maar weinig onderzoek werd uitgevoerd naar less-than-truckload ladingen in een synchromodale setting en daarom werd volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Wat zijn opportuniteiten en uitdagingen van synchromodaal transport binnen de context van less-than-truckload transport?*

In het eerste deel van de literatuurstudie werd een antwoord gezocht op de eerste deelvraag, namelijk "Wat zijn de belangrijkste combinaties van transportmodi en hun kenmerken?". De wijze van transporteren kan opgedeeld worden in drie verschillende combinaties: het intermodaal transport, synchromodaal transport en het physical internet. Al deze combinaties behoren tot de overkoepelende term van multimodaliteit omdat ze allen beroep doen op meer dan één transportmodus. Intermodaal transport wordt vaak gezien als de voorloper van het synchromodaal transport. De grote evolutie die hier plaatsvond, is de optie tot amodale boeking, waarbij de logistieke dienstverleners zelf de modi voor transport kunnen bepalen. Op basis van real-time informatie kan op elk moment tijdens het transport bepaald worden welke transportmodus en route op dat moment, voor die lading en die locatie het meest geschikt is (Meers et al., 2017). Het physical internet gaat dan weer hand in hand met synchromodaliteit. Eén van de voorwaarden voor synchromodaal transport is een geïntegreerd netwerk, het physical internet gaat verder dan dat. De eerste formele definitie van de PI werd geïntroduceerd door Montreuil, Meller en Ballot (2013), die het beschrijven als een open wereldwijd logistiek systeem gebaseerd op de fysieke, digitale en operationele interconnectiviteit. Auteurs hebben echter de neiging om hun definities van dergelijke combinaties van transport zelf in te vullen naargelang het onderzoek dat ze voeren. Tot gevolg zijn er een tal van definities te vinden, waardoor een fundamentele interpretatie van de begrippen ontbreekt.

Het tweede deel van de literatuurstudie beschrijft het huidige onderzoek naar less-than-truckload. Vaak is een bedrijf niet bereid om te wachten tot een volledige vrachtwagen gevuld is om zo

frequenter te leveren en aan nieuwe klantenvereisten te voldoen. In dat geval spreken we van less-than-truckload waarbij de lading van een bedrijf niet de volledige capaciteit van de vrachtwagen benut en bijgevolg wordt gecombineerd met vracht van andere bedrijven (Altan & Özener, 2021). De belangrijkste uitdagingen van dit soort ladingen kunnen opgedeeld worden in drie categorieën; de samenwerking en het vertrouwen dat nodig is tussen de verschillende partijen binnen de supply chain; het plannen en de routes die nodig zijn bij de consolidatie van less-than-truckload ladingen; en het alloceren van de winsten en kosten onder de verschillende partijen. Veel oplossingsmethoden worden reeds aangeboden in de literatuur waarbij modellen worden gebruikt voor de optimale routing of het verdelen van de kosten en winsten. Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat het merendeel van deze literatuur deze oplossingsmethoden slechts toepast binnen unimodaal wegtransport. Transport via andere modi zoals het water en spoor wordt dus buiten beschouwing gelaten. Van combinaties tussen al deze transportmodi wordt helemaal nog niet gesproken.

In een volgend hoofdstuk wordt de link gemaakt tussen het eerste en het tweede deel van de literatuurstudie waar we de uitdagingen van synchromodaal transport gaan schetsen en een antwoord gaan formuleren op de vraag welke opportuniteiten en uitdagingen synchromodaal transport kent in een less-than-truckload context. Naast de drie uitdagingen van less-than-truckload die terugkomen bij synchromodaliteit kent synchromodaal transport nog twee extra uitdagingen. Een inclusief wettelijk en politiek kader vormen de basis voor de succesfactoren van synchromodaal transport. Voor een goed functionerend synchromodaal netwerk is een geharmoniseerde regelgeving onmisbaar. Er gelden namelijk vaak verschillende politieke contexten in verschillende landen en zelfs tussen transportmodi onderling. Een tweede uitdaging wordt gevormd omtrent de beslissingen over de infrastructuur van transport, de basis van een goede planning en routing. Het gaat over beslissingen die te maken hebben met het ontwerp van het fysieke infrastructuurnetwerk: de locatie en het aantal terminals, type en hoeveelheid apparatuur, capaciteit van lijnen, de klantzonen die bediend zullen worden enzovoort.

Een tweede sectie focust op link tussen de twee concepten. De belangrijkste voordelen van synchromodaliteit bij LTL-ladingen zijn de betere bezetting van de verschillende middelen waardoor er schaalvoordelen kunnen ontstaan, de modale shift die plaatsvindt naar duurzamere transportmodi en de real-time flexibiliteit waar partners in de supply chain mee aan de slag kunnen. De verschillende relaties die ontstaan tussen de verschillende partners in de supply chain zorgen er wel voor dat er een overvloed is aan ongestructureerde en ongestandaardiseerd data. Ook een gebrek aan juiste mathematische oplossingsmethoden voor de verdeling van de kosten en winsten binnen dergelijke relaties treden op door de shift van *mode-based* naar *service-based*. Tot slot zijn er geen duidelijke regelgevingen rond de aansprakelijkheid tijdens maar ook voor en na het transport. Door de combinatie van less-than-truckload en synchromodaliteit treedt aansprakelijkheid op in twee richtingen.

Het onderzoek dat werd uitgevoerd, kent echter ook enkele beperkingen. Het wordt aanbevolen om het onderzoek naar less-than-truckload binnen in een synchromodale setting verder te onderzoeken. De literatuur die nu bestaat, is hoofdzakelijk gefocust op less-than-truckload ladingen binnen unimodaal wegtransport waarbij er slechts gebruik wordt gemaakt van één transportmodus. De uitdagingen en opportuniteiten van less-than-truckload binnen een synchromodale setting zijn dus

niet gebaseerd op letterlijke bevindingen in de literatuur. Er worden binnen deze studie zelf logische linken gelegd tussen de literatuur van synchromodaal transport enerzijds en de literatuur van less-than-truckload anderzijds. Op deze manier worden mogelijke opportuniteiten en uitdagingen geïdentificeerd die bedrijven mogelijk zullen ervaren bij de overstap naar synchromodaal transport bij LTL-ladingen. Echter wordt hierbij niet gefocust op model specifieke bevindingen en worden enkel de meest relevante en overkoepelende uitdagingen en opportuniteiten verder uitgewerkt binnen deze studie. Dit onderzoek is een goede basis om op zoek te gaan naar andere uitdagingen en opportuniteiten.

Met de vooropgestelde doelen naar een duurzamer transportnetwerk is het van belang om dit onderzoek verder te zetten omdat bij synchromodaal transport gebruik wordt gemaakt van meer duurzame transportmodi. Hoewel deze studie voornamelijk focust op synchromodaal transport is het uitermate interessant om dergelijke onderzoeken ook uit te voeren voor andere combinaties die in de toekomst van groot belang zullen zijn, zoals bijvoorbeeld het physical internet. Bij de beschreven uitdagingen wordt er in dit onderzoek ook nog onvoldoende gefocust op de mogelijke oplossingen die kunnen dienen om de uitdagingen weg te werken.

Een volgende stap is het opstarten van real-life cases om waardevolle en praktische analyses te kunnen maken over de gevonden literatuur. Dit onderzoek is enkel gebaseerd op bestaande literatuur en er ontbreekt dus een empirisch gedeelte. De data die nu reeds bestaat, is onvoldoende specifiek om correcte analyses te maken. De gevonden data gaat ofwel over synchromodaal transport ofwel over less-than-truckload maar nooit over een combinatie van deze twee contexten. Wanneer de verschillende uitdagingen en opportuniteiten van less-than-truckload ladingen binnen een synchromodale setting volledig onderzocht en beschreven zijn in de literatuur, kunnen verdere stappen gezet worden richting het opstarten van real-life cases. Op deze manier ontstaan er waardevolle analyses waarbij de resultaten in de praktijk worden vergeleken met de bevindingen in de literatuur. Praktische analyses gaan zelfs nog verder, waardoor geconstateerd kan worden welke uitdagingen en opportuniteiten primieren en de meeste aandacht verdienen wanneer bedrijven in dergelijke contexten aan de slag gaan. Er kan namelijk best gefocust worden op de uitdagingen en opportuniteiten met de grootste impact op de parameters die het bedrijf vooropstelt.

Referenties

Wetenschappelijke bronnen

- Agamez-Arias, A.-d.-M., & Moyano-Fuentes, J. (2017). Intermodal transport in freight distribution: a literature review. *Transport Reviews*, 37(6), 782-807. doi:10.1080/01441647.2017.1297868
- Altan, B., & Özener, O. Ö. (2021). A Game Theoretical Approach for Improving the Operational Efficiencies of Less-than-truckload Carriers Through Load Exchanges. *Networks and Spatial Economics*, 21, 547-579. doi:10.1007/s11067-021-09536-7
- Ambra, T., Caris, A., & Macharisa, C. (2019). Towards freight transport system unification: reviewing and combining the advancements in the physical internet and synchromodal transport research. *International Journal of Production Research*, 57(6), 1606-1623. doi:10.1080/00207543.2018.1494392
- Argyropoulou, M., Zisis, D., Korfiatis, N., & Zampou, E. (2022). Horizontal collaboration in the last mile distribution: gauging managerial response to disruption and abnormal demand. *Benchmarking: An International Journal*. doi:10.1108/BIJ-06-2021-0328
- Ayar, B., & Yaman, H. (2012). An intermodal multicommodity routing problem with scheduled services. *Computational Optimization and Applications*, 53, 131-153. doi:10.1007/s10589-011-9409-z
- Behdani, B., Fan, Y., Wiegmans, B., & Zuidwijk, R. (2014). Multimodal schedule design for synchromodal freight transport systems. *SSRN Electronic Journal*, 16(3). doi:10.2139/ssrn.2438851
- Bektas, T., & Crainic, T. G. (2007). Brief Overview of Intermodal Transportation. *Logistics Engineering Handbook*, 1-16. doi:10.1201/9780849330537.ch28
- Beresford, A., Pettit, S., & Liu, Y. (2011). Multimodal supply chains: iron ore from Australia to China. *Supply Chain Management*, 16(1), 32-42. doi:10.1108/13598541111103485
- Bontekoning, Y. M., Macharis, C., & Trip, J. J. (2004). Is a new applied transportation research field emerging? -- A review of intermodal rail-truck freight transport literature. *Transportation Research Part A*, 38, 1-34. doi:10.1016/j.tra.2003.06.001
- Chu, C.-W. (2005). A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem. *European Journal of Operational Research*, 165, 657-667. doi:10.1016/j.ejor.2003.08.067
- Ciriani, V., Vimercati, S. D. C. d., Foresti, S., Jajodia, S., Paraboschi, S., & Samarati, P. (2007). *Fragmentation and Encryption to Enforce Privacy in Data Storage*. Paper presented at the 12th European Symposium On Research In Computer Security, Dresden, Germany.
- Craig, A. J., Blanco, E. E., & Sheffi, Y. (2013). Estimating the CO2 intensity of intermodal freight transportation. *Transportation Research Part D*, 22, 49-53. doi:10.1016/j.trd.2013.02.016
- Crainic, T. G., & Kim, K. H. (2007). Intermodal Transportation. *Handbook in OR & MS*, 14. doi:10.1016/S0927-0507(06)14008-6
- Crujssen, F., & Salomon, M. (2004). Empirical study: Order sharing between transportation companies may result in cost reductions between 5 to 15 percent. *SSRN Electronic Journal*, 80(2004-80). doi:10.2139/ssrn.607062

- Cullinane, K., & Toy, N. (2000). Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis. *Transportation Research Part E*, 36(1), 41-53. doi:10.1016/S1366-5545(99)00016-2
- Dahl, S., & Derigs, U. (2011). Cooperative planning in express carrier networks – An empirical study on the effectiveness of a real-time Decision Support System. *Decision Support Systems*, 51(3), 620-626. doi:10.1016/j.dss.2011.02.018
- Dullaert, W., Cools, M., Cruijssen, F., Fleuren, H., & Merckx, F. (2004). Strategische werkgroep collaboratieve netwerken: analyse samenwerkingsopportuniteiten. European Conference of Ministers of Transport. (1993). Terminology on combined transport. Paris: OECD.
- Flodén, J., Bärthel, F., & Sorkina, E. (2017). Transport buyers choice of transport service – A literature review of empirical results. *Research in Transportation Business & Management*, 23, 35-45. doi:10.1016/j.rtbm.2017.02.001
- Friedrich, R., & Bickel, P. (2001). *Environmental External Costs of Transport*.
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., & Musmanno, R. (2003). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1-11. doi:10.1016/S0377-2217(02)00915-3
- Giusti, R., Manerba, D., Bruno, G., & Tadei, R. (2019). Synchromodal logistics: An overview of critical success factors, enabling technologies, and open research issues. *transportation Research Part E*, 129, 92-110. doi:10.1016/j.tre.2019.07.009
- Guo, W., Atasoy, B., Blokland, W. B. v., & Negenborn, R. R. (2021). Global synchromodal transport with dynamic and stochastic shipment matching. *transportation Research Part E*, 152. doi:10.1016/j.tre.2021.102404
- Holguín-Veras, J., Kalahasthi, L., Campbell, S., Gonzalez-Calderon, C. A., & Wang, X. C. (2021). Freight mode choice: Results from a nationwide qualitative and quantitative research effort *Transportation Research Part A*, 143, 78-120. doi:10.1016/j.tra.2020.11.016
- Jones, B., Cassady, R., & Bowden, R. (2000). Developing a Standard Definition of Intermodal Transportation. *Transportation Law Journal*, 27.
- Juncker, M. A. M. D., Phillipson, F., Bruijns, L., & Sangers, A. (2018). Optimising Routing in an Agent-Centric Synchromodal Network with Shared Information. *Computational logistics*. doi:10.1007/978-3-030-00898-7_21
- Kordnejad, B. (2014). Intermodal Transport Cost Model and Intermodal Distribution in Urban Freight. *Social and Behavioral Sciences*, 125, 358-372. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1480
- Kurtulus, E., & Çetin, I. B. (2020). Analysis of modal shift potential towards intermodal transportation in short-distance inland container transport. *Transport policy*, 89, 24-37. doi:10.1016/j.tranpol.2020.01.017
- Li, L., Negenborn, R. R., & Schutter, B. D. (2015). Intermodal freight transport planning – A receding horizon control approach. *Transportation Research Part C*, 60, 77-95. doi:10.1016/j.trc.2015.08.002
- Linderoth, M. (2020). *E-commerce and the potential effect of changing transport activity on CO2 emissions* (Master of Science), Wegener Center for Climate and Global Change University of Graz

- Lv, B., Yang, B., Zhu, X., & Li, J. (2019). Operational optimization of transit consolidation in multimodal transport. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 454-464. doi:10.1016/j.cie.2019.02.001
- Lyu, X., Chen, H., Wang, N., & Yang, Z. (2019). A multi-round exchange mechanism for carrier collaboration in less than truckload transportation. *Transportation Research Part E*, 129, 38-59. doi:10.1016/j.tre.2019.07.004
- McGinnis, M. A. (1990). The Relative Importance of Cost and Service in Freight Transportation Choice: Before and After Deregulation. *Transportation Journal*, 30(1), 12-19.
- Meers, D., Pekin, E., Macharis, C., & Ambra, T. (2017). Intermodal transport. *Sustainable mobility and Logistics*.
- Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics research*, 3(2-3), 71-87. doi:10.1007/s12159-011-0045-x
- Muller, G. (1995). *Intermodal freight transportation* (3rd ed.). Washington, DC: Eno Foundation and the Intermodal Association of North America.
- Murphy, P. R., & Hall, P. K. (1995). The Relative Importance of Cost and Service in Freight Transportation Choice Before and After Deregulation: An Update. *Transportation Journal*, 35(1), 30-38.
- Ohnell, S., & Woxenius, J. (2003). An industry analysis of express freight from a European railway perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(8), 384-399. doi:10.1108/09600030310502902
- Özener, O. Ö. (2019). Solving the integrated shipment routing problem of a less-than-truckload carrier. *Discrete Applied Mathematics*, 252, 37-50. doi:10.1016/j.dam.2017.11.034
- Pfoser, S., Kotzab, H., & Bäuml, I. (2021). Antecedents, mechanisms and effects of synchromodal freight transport: a conceptual framework from a systematic literature review. *The International Journal of Logistics Management*. doi:10.1108/IJLM-10-2020-0400
- Pfoser, S., Treiblmaier, H., & Schauer, O. (2016). Critical success factors of synchromodality: results from a case study and literature review. *Transportation Research Procedia*, 14, 1463 – 1471. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.220
- Pleszko, J. (2012). Multi-variant configurations of supply chains in the context of synchromodal transport *Scientific Journal of Logistics*, 8(4), 287-295.
- Qiao, B., Pan, S., & Ballot, E. (2019). Dynamic pricing model for less-than-truckload carriers in the Physical Internet. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(7), 2631–2643. doi:10.1007/s10845-016-1289-8
- Singh, P. M., Sinderen, M. J. v., & Wieringa, R. J. (2018). *Synchromodal Transport: Pre-requisites, Activities and Effects*. Paper presented at the Conference: 4th ILS Conference, Bordeaux, France.
- Slack, B. (2017). *Intermodal Transportation* (Vol. 2). Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Smith, J. (2021). Some Truckers Are Thriving as Companies Reset Supply Chains; Efforts to meet growing e-commerce consumer demand have less-than-truckload carriers handling more freight. *Wall Street Journal*.
- Sommar, R. (2006). *Intermodal Transport in Less-than-Truckload Networks*. (Licentiate of Engineering), Chalmers University of Technology, Division of Logistics and Transportation.

- Sprenger, R., & Mönch, L. (2012). A methodology to solve large-scale cooperative transportation planning problems. *European Journal of Operational Research*, 223(3), 626-636. doi:10.1016/j.ejor.2012.07.021
- StadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Woensel, T. V., & Raoufi, R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233, 1-15. doi:10.1016/j.ejor.2013.06.055
- Tavasszy, L. r. n., Behdani, B., & Konings, R. (2015). Intermodality and synchronomodality. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.2592888
- Todts, W. (2018). CO2 emissions from cars: the facts. *Transport and environment*.
- van Lier, T. (2014). *The Development of an External Cost Calculator Framework for Evaluating the Sustainability of Transport Solutions*. (PhD), Vrije universiteit Brussel,
- van Riessen, B., Negenborn, R. R., & Dekker, R. (2015). Synchronomodal container transportation: an overview of current topics and research opportunities. *Conference: 6th International Conference on Computational Logistics*. doi:10.1007/978-3-319-24264-4_27
- Vega, D. S. D. L., Vieira, J. e. G. V., Toso, E. A. V., & Faria, R. N. d. (2018). A decision on the truckload and less-than-truckload problem: An approach based on MCDA. *International Journal of Production Economics*, 195, 132-145. doi:10.1016/j.ijpe.2017.09.013
- Verdonck, L., Caris, A., Ramaekers, K., & Janssens, G. K. (2013). Collaborative Logistics from the Perspective of Road Transportation Companies. *Transport reviews*, 33(6), 700-719. doi:10.1080/01441647.2013.853706
- Wang, X., & Kopfer, H. (2014). Collaborative transportation planning of less-than-truckload freight: A route-based request exchange mechanism. *OR Spectrum*, 36(2), 357-380. doi:10.1007/s00291-013-0331-x
- Xu, N., Yu, C., Zhang, L., & Liu, P. (2010). Profit Allocation in Collaborative Less-Than-Truckload Carrier Alliance. *Journal of Service Science and Management*, 3(1), 143-149. doi:10.4236/jssm.2010.31018
- Zhang, M., & Pel, A. J. (2016). Synchronomodal hinterland freight transport: Model study for the port of Rotterdam. *Journal of Transport Geography*, 52, 1-10. doi:10.1016/j.jtrangeo.2016.02.007

Online bronnen

- Comeos. (2020). E-commerce survey 2020. Retrieved from <https://www.comeos.be/research/376488/E-commercestudie-2020>
- Cramer-Flood, E. (2020). Global Ecommerce 2020. Retrieved from <https://www.emarketer.com/content/global-ecommerce-2020>
- Evenepoel, K. (2021). Het coronajaar van de Belgische e-commerce: magische kaap van 100 miljoen transacties gerond. *RetailDetail*. Retrieved from <https://www.retaildetail.be/nl/news/algemeen/het-coronajaar-van-de-belgische-e-commerce-magische-kaap-van-100-miljoen-transacties>
- Van Oost, M., & Vanacker, L. (2020). E-commerce boomt door corona. *De Tijd*. Retrieved from <https://www.tijd.be/ondernemen/retail/e-commerce-boomt-door-corona/10215153.html>

Woensel, T. v. (Producer). (2017). Cargo Hitching: waar pakketjes en personen samengaan. Retrieved from <https://www.dinalog.nl/wp-content/uploads/2018/08/Cargo-Hitching-Magazine.pdf>