

2013•2014
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Laadplanning van treinen in intermodaal transport

Promotor :
Prof. dr. An CARIS

Copromotor :
dr. Kris BRAEKERS

Hilde Heggen
*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur*

2013•2014

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Laadplanning van treinen in intermodaal transport

Promotor :
Prof. dr. An CARIS

Copromotor :
dr. Kris BRAEKERS

Hilde Heggen

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur*

WOORD VOORAF

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn vijfjarige opleiding Toegepaste Economische Wetenschappen – Handelsingenieur met afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp van deze thesis – de laadplanning van treinen in intermodaal transport – heeft mijn interesse gewekt door het operationele karakter ervan, waarin planning centraal staat. Voor mij was het een uitdaging om een analyse uit te voeren van de verschillende factoren die een rol spelen in de treinplanning en vervolgens met deze gegevens de laadplanning van een concrete trein op te stellen.

De resultaten, bereikt op basis van literatuurstudies en een praktijkonderzoek bij Ewals Intermodal te Genk, zijn gebundeld in deze thesis die mede tot stand is gekomen dankzij de begeleiding en het deskundig advies van mijn promotor prof. dr. An Caris alsook van mijn copromotor dr. Kris Braekers. Daarnaast ook speciale dank aan dhr. Luc Driessen die mij de kans heeft geboden om het praktijkonderzoek bij Ewals Intermodal uit te voeren, en aan mevr. An Bonneux en dhr. Gianni Martella voor hun vakspecifieke kennis en verdere ondersteuning vanuit Ewals Intermodal.

Ten slotte wil ik graag mijn ouders bedanken voor de kansen die ze mij gegeven hebben tijdens de afgelopen bachelor- en masterjaren van mijn opleiding, waarin ik de achtergrondkennis heb verworven die aan de basis ligt van deze thesis. Ook wil ik mijn vriend bedanken voor alle morele steun die hij heeft geboden tijdens mijn studies. Daarnaast ook dank aan mijn broer voor de gezellige studeermomenten tijdens de examenperiodes.

Hilde Heggen
Lanaken, mei 2014

SAMENVATTING

Intermodaal transport betreft de beweging van goederen in dezelfde laadeenheid via een combinatie van verschillende transportmodi voor een deur-tot-deur levering. In deze thesis ligt de focus op de combinatie van weg- en spoorvervoer, waarbij lange afstanden overbrugd worden via het spoor en de afstand tussen treinstation en oorsprong of bestemming via de weg verloopt. Zo wordt de bereikbaarheid die unimodaal wegvervoer biedt gecombineerd met de schaalvoordelen van treinvervoer over lange afstanden, waardoor congestie op de wegen afneemt en de CO₂-uitstoot gereduceerd wordt. Omwille van deze voordelen wordt intermodaal transport op politiek vlak gestimuleerd. Om een toename van het aandeel van intermodaal transport ten opzichte van andere transportmodi te verwezenlijken is de rendabiliteit van de intermodale terminal van cruciaal belang. Deze kan slechts rendabel zijn als wordt gestreefd naar een kostenminimalisatie van de uitgaande treinen, met aandacht voor een zeker niveau van dienstverlening.

De laadplanning van treinen in intermodaal transport betreft het toewijzen van laadeenheden aan een specifieke locatie op de trein en kan een grote invloed hebben op de efficiëntie van een intermodale terminal. Door bijvoorbeeld meer laadeenheden op eenzelfde trein te plaatsen neemt de kost per laadeenheid af. Een goed uitgewerkt laadplan, waarbij rekening wordt gehouden met diverse beïnvloedende factoren, kan leiden tot aanzienlijke kostenbesparingen en bijgevolg tot een verhoogd competitief voordeel voor de intermodale terminal. De werking van een intermodale terminal wordt beschreven, alsook de manier waarop overslag van ladingen in een intermodale weg-spoorterminal geschiedt.

Om na te gaan hoe een laadplan opgesteld kan worden om een zo groot mogelijke efficiëntie van de intermodale terminal te bekomen, wordt een literatuurstudie uitgevoerd. Eerst worden de factoren die bepalend zijn voor het laadplan samengevat. De gewichts- en afmetingsbeperkingen worden samengebracht in een laadschema opgesteld door de wagonfabrikant. Dit laadschema omvat de mogelijke laadpatronen van een wagon. Daarnaast zijn de hoeveelheid goederenbehandeling, de beweging van het transportmaterieel, de gewichtsverdeling van ladingen en de herpositionering van pins factoren waarmee rekening gehouden kan worden bij het opstellen van een laadplan. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de methoden die in de literatuur worden aangehaald voor de opstelling van een laadplan. In deze modellen worden verschillende combinaties van de factoren samengevoegd. Er worden vier methoden onderscheiden. Een eerste methode betreft het set-covering probleem, waarbij alle ladingen aan een minimale kost behandeld worden. Dit is een relatief eenvoudig model dat als basis beschouwd kan worden voor andere modellen, maar op zichzelf niet uitgebreid genoeg is voor een complexe treinplanning. Een tweede methode behandelt het toewijzingsprobleem als een logistiek wachtrijnetwerk, waarbij een eerste model ladingen toewijst aan klantverzoeken en het tweede model wagons toewijst aan ladingen. Deze methode brengt een volledig netwerk in rekening en controleert de wagonstromen tussen terminals. Een derde methode maximaliseert de bezettingsgraad van de trein en minimaliseert de opstartkosten voor de verandering van configuratie van wagons en de transportkosten in de terminal. Daarnaast worden in dit model ook gewichtsbeperkingen opgelegd aan de wagons. Tenslotte wordt er ook een *load planning assignment* model (LPA) voorgesteld in de literatuur. Bij

de toewijzing van laadeenheden aan wagons wordt gezocht naar een perfecte toewijzing door de minimalisatie van strafpunten toegekend aan een combinatie van factoren, namelijk dubbele goederenbehandeling, beweging van transportmaterieel en massadistributie. Omdat dit model uitgaat van een vereenvoudigde werkelijkheid, wordt het gewijzigd tot een realistischer, aangepast LPA-model dat het treinplanningsmodel heet en dat de minimalisatie hanteert van de gewogen som van het vereiste aantal wagons met de tijd die het transportmaterieel nodig heeft om het laadplan uit te voeren. Ook worden bij deze methode enkele toevoegingen voorgesteld, zoals bijvoorbeeld het plaatsen van gevaarlijke goederen op de wagon.

In de praktijkstudie wordt de laadplanning van treinen in de praktijk onderzocht. De basis van dit praktijkonderzoek is de treinplanningsafdeling van Ewals Intermodal. De beschikbare laadeenheden en wagons worden beschreven, alsook de laadplanning zoals deze gebeurt in het bedrijf. Deze laadplanning wordt vergeleken met de beschikbare modellen uit de literatuur. Aan de hand van deze praktijksituatie wordt een oplossingsmodel voorgesteld voor de laadplanning bij Ewals Intermodal voor de trein van Genk naar Novara. Het model is gebaseerd op het treinplanningsmodel, in combinatie met enkele toevoegingen op basis van observaties gemaakt in de treinplanningsafdeling. Toegestane laadpatronen op basis van afmetingen, maximale gewichten die de wagons kunnen dragen en het maximaal gewicht van de trein zijn de belangrijkste beperkende factoren in dit model. In de doelfunctie wordt de maximalisatie van de bezettingsgraad beoogd. Wagons worden niet afgekoppeld indien deze leeg zijn, er worden zoveel mogelijk units op de wagon geplaatst. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat de goederenbehandeling en de beweging van transportmaterieel van belang zijn in de literatuur, maar in de praktijk is dit veel minder het geval. Het gewicht van een extra goederenbehandelingskost ligt namelijk veel lager dan de leasingkost van een wagonset. In verhouding ligt deze kost veel lager en wordt in de praktijk geopteerd voor een maximale bezettingsgraad. Na een analyse van de treinplanning bleek eveneens dat een betere integratie tussen de spelers – zoals het uitwisselen van real-time informatie over de status van laadeenheden – een verdere optimalisatie van de treinplanning kan betekenen. Over het algemeen gebeurt de manuele treinplanning op basis van kennis en ervaring en worden geen theoretische methoden gebruikt voor het opstellen van laadplanningen. Vaak werd benadrukt dat de treinplanning een dynamisch proces is, waarbij de planners vaak op basis van ervaring en intuïtie dienen te handelen. Bij een vergelijking van de manuele treinplanning met de resultaten van het geautomatiseerde model blijkt dat de effectiviteit van de manuele treinplanning hoog ligt. Bij een trein waarvan de samenstelling van de wagons dicht bij de ideale wagonsetsamenstelling ligt, is de bezettingsgraad immers zeer hoog bij de manuele planning. De manuele treinplanning neemt in verhouding echter veel tijd in beslag.

In de modeluitbreiding dient een lijst met laadeenheden van een hele week als input. Deze uitbreiding biedt het bedrijf de mogelijkheid om snel een toegelaten oplossing van het treinplanningsmodel te vinden. Het model kan gebruikt worden als basis voor het opstellen van een dagelijkse initiële planning, waarna treinplanners de aanvankelijke planning aanpassen wanneer er zich wijzigingen voordoen in de planningsgegevens. Dankzij dit model kunnen meer laadeenheden eerder getransporteerd worden, wat een daling betekent van de kost per laadeenheid op de trein betekent. Bovendien komt op deze manier meer plaats vrij op latere treinen.

Ten slotte worden conclusies getrokken uit de literatuurstudie en het praktijkonderzoek. Ook worden de beperkingen en suggesties voor verder onderzoek aangehaald. Er dient opgemerkt te worden dat het uitgebreide praktijkmodel geen rekening houdt met de constante herzieningen aan het laadplan zich die tijdens de planningsdag voordoen. Het model kan gebruikt worden om dagelijks een initiële planning op te stellen die vatbaar is voor veranderingen die te wijten zijn aan de dynamische operationele omgeving waarin de treinplanning plaatsvindt. Het gaat hier dus niet om een finale planning. In een mogelijk verder onderzoek kan het model uitgebreid worden om herzieningen in te plannen. Dit proces is echter moeilijk kwantificeerbaar en komt in de praktijk tot stand na overleg met andere planners en na overweging van de kosten en baten van de opties. Daarnaast zou de geautomatiseerde treinplanning zoals deze nu uitgevoerd is voor de trein Genk-Novara aangepast kunnen worden om de trein Geleen-Novara te optimaliseren. Op deze manier zouden laadeenheden optimaal verdeeld kunnen worden tussen de vertrekstations Genk en Geleen.

INHOUDSOPGAVE

WOORD VOORAF	I
SAMENVATTING	III
INHOUDSOPGAVE	VII
LIJST VAN TABELLEN	IX
LIJST VAN FIGUREN	XI
1. PROBLEEMSTELLING	1
1.1 Praktijkprobleem: omschrijving en situering	1
1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	3
1.3 Deelvragen	3
1.4 Kadering van planningsproblemen	4
1.5 De intermodale weg-spoorterminal	5
1.5.1 Planning in de intermodale terminal	5
1.5.2 Dynamiek van het laadplan	7
2. LITERATUURSTUDIE: OPSTELLING VAN HET LAADPLAN	9
2.1 Bepalende factoren voor de efficiëntie van het laadplan van een trein	9
2.1.1 Laadpatronen	9
2.1.2 Goederenbehandeling en beweging van het transportmaterieel.....	12
2.2 Modellen voor de opstelling van een laadplanning voor treinen	12
2.2.1 Inputs	12
2.2.2 Logistieke componenten	13
2.2.3 Oplossingsmethoden	14
2.2.3.1 'Set-covering'-probleem	14
2.2.3.2 Logistiek wachtrijnetwerk	15
2.2.3.3 Model van Bruns en Knust (2012).....	15
2.2.3.4 Load planning assignment model.....	16
2.2.3.5 Treinplanningsmodel.....	18
2.2.4 Onzekerheid	25
3. PRAKTIJKSTUDIE	27
3.1 Introductie – Ewals Intermodal.....	27
3.2 Uitrusting: laadeenheden.....	28
3.2.1 Curtainside swap body – 30 voet	29
3.2.2 Curtainside swap body – 45 voet	29
3.2.3 Bulk container – 30 voet.....	29
3.2.4 Pallet wide box container – 45 voet	30
3.2.5 Mega huckepack trailer – 45 voet	30
3.2.6 Trailer met coil well – 45 voet	30
3.2.7 Coil flats – 20 en 25 voet	30
3.3 Uitrusting: treinwagons	31

3.3.1	Containerwagon met 4 assen – 60 voet	31
3.3.2	Containerwagon met 6 assen – 90 voet	32
3.3.3	Containerwagon met 6 assen – 104 voet	32
3.4	Laadplanning binnen Ewals Intermodal	33
3.4.1	Planningsprogramma 'Ixolution' en Excel	33
3.4.2	Treinplanning Genk – Novara (HGE-NOV).....	33
3.5	Vergelijking: praktijkstudie en theoretische modellen	37
3.6	Modellering van de treinplanning	39
3.6.1	Ontwikkeling van het basismodel	39
3.6.2	Toepassing basismodel op concrete trein HGE-NOV – Ewals Intermodal	41
3.6.3	Ontwikkeling van een uitgebreid model met prioriteiten	43
3.6.4	Toepassing uitgebreid model op trein HGE-NOV – Ewals Intermodal	45
3.6.5	Praktische instructies voor het uitvoeren van de modellen.....	48
4.	CONCLUSIES	49
4.1	Conclusies uit literatuur- en praktijkstudie	49
4.2	Beperkingen en suggesties voor verder onderzoek	50
	LIJST VAN DE GERAADPLEEGDE WERKEN	51
	BIJLAGEN	53
	Bijlage 1: laadpatronen voor een 60ft-wagon	53
	Bijlage 2: laadpatronen voor een 90ft-wagon	54
	Bijlage 3: laadpatronen voor een 104ft-wagon.....	55
	Bijlage 4: eigenschappen van laadeenheden van Ewals Intermodal	56
	Bijlage 5: gegevens van de trein van 6 november 2013	57
	Bijlage 6: laadpatronen en aantal slots per laadpatroon voor elk wagontype	60

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: uitrusting Ewals Intermodal en hun eigenschappen	29
Tabel 2: technische details van de wagons, aangepast uit AAE(z.d.)	31
Tabel 3: schema Genk-Novara, aangepast (Ewals Intermodal company presentation, 2013).....	33
Tabel 4: Aantal wagons en laadeenheden per type, trein 6 november 2013	41
Tabel 5: manuele en automatische laadplanning, trein 6 november 2013	42
Tabel 6: manuele en automatische laadplanning, trein 11 oktober 2013.....	43
Tabel 7: Gegevens treinen HGE-NOV, week 15.....	45
Tabel 8: Resultaten uitgebreid model, week 15	46
Tabel 9: Aantal toegewezen laadeenheden per prioriteitsniveau, week 15	47
Tabel A.1: curtainside swap body – 30 voet.....	56
Tabel A.2: curtainside swap body - 45 voet	56
Tabel A.3: bulk container - 30 voet.....	56
Tabel A.4: pallet wide box container - 45 voet	56
Tabel A.5: mega huckepack trailer - 45 voet.....	56
Tabel A.6: trailer met coil well - 45 voet.....	56
Tabel A.7: coil flats - 20 en 25 voet	56
Tabel A.8: gegevens van de wagons, trein 6 november 2013.....	57
Tabel A.9: gegevens van de laadeenheden, trein 6 november 2013	57
Tabel A.10: aantal slots per laadpatroon en per wagon, trein 6 november 2013	58
Tabel A.11: prioriteiten, trein 6 november 2013	59
Tabel A.12: laadpatronen wagontype 1 - 60 voet	60
Tabel A.13: laadpatronen wagontype 2 - 90 voet	60
Tabel A.14: laadpatronen wagontype 3 - 104 voet.....	60

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: intermodaal transport (Powell en Carvalho, 1998)	5
Figuur 2: weg-spoor terminal (Boysen et al, 2011)	6
Figuur 3: laadpatronen (Bruns en Knust, 2012).....	11
Figuur 4: gewichtsverdeling (Brunst en Knust, 2012)	16
Figuur 5: verbindingen (Ewals Intermodal company presentation, 2013)	28
Figuur 6: swap body – 30 voet.....	29
Figuur 7: swap body - 45 voet	29
Figuur 8: bulk container – 30 voet.....	29
Figuur 9: container - 45 voet	30
Figuur 10: mega huckepack trailer - 45 voet.....	30
Figuur 11: trailer met coil well - 45 voet.....	30
Figuur 12: coil flats.....	31
Figuur 13: optimaal geladen wagon (60 voet): 20ft en 40ft laadeenheid (AAE, z.d.)	32
Figuur 14: optimaal geladen wagon (90 voet) met twee 45 voet laadeenheden (AAE, z.d.)	32
Figuur 15: geladen wagon van 104 voet (AAE, z.d.)	32

1. PROBLEEMSTELLING

1.1 Praktijkprobleem: omschrijving en situering

Bontekoning, Macharis en Trip (2004) omschrijven intermodaal transport als de beweging van goederen in één en dezelfde laadeenheid via een combinatie van opeenvolgende vervoersmodi (weg-, spoor- en/of watertransport), zonder bewerking van de goederen zelf tijdens de transfer tussen de verschillende transportwijzen. Hierbij wordt gestreefd naar een goede integratie van de verschillende transportmodi om een levering 'van deur-tot-deur' uit te voeren (Reis, Meier, Pace en Palacin, 2012). Newman en Yano (2000) geven aan dat een dergelijke laadeenheid kan bestaan uit een container, wissellaadbak of trailer.

Intermodaal transport is een van de snelst groeiende segmenten binnen de transportindustrie (Verma et al., 2012). Het transportvolume van maritiem containertransport alsook het continentaal intermodaal transport is significant gestegen de afgelopen jaren (Bruns en Knust, 2012). Steeds meer productie verschuift naar plaatsen waar dit het goedkoopste is. Samen met de algemene trend richting globalisering stijgt de vraag naar transport van afgewerkte goederen. Intermodaal transport, waarbij slechts een klein deel van het transport via de weg wordt uitgevoerd, is hiervoor een goede oplossing (Boysen, Fliedner, Jaehn en Pesch, 2011). De intermodale combinatie van wegvervoer met transport per trein combineert de bereikbaarheid van het wegennet met de schaalvoordelen van spoorwegen. Het spoortransport is hierbij verantwoordelijk voor lange-afstandsverplaatsingen van vracht, terwijl het wegtransport de afstand overbruggt tussen het treinstation en de oorsprong of bestemming (Verma et al., 2012).

Intermodaal transport biedt bovendien diverse voordelen en is een goede vervanger voor het unimodale wegvervoer. Lange afstanden worden steeds vaker overbrugd via spoorwegen. Dit biedt gelegenheid om congestie op de wegen – vooral in het centrum van Europa – te verminderen (Boysen et al., 2011). Ook het feit dat intermodaal transport over het algemeen milieuvriendelijker is dan bijvoorbeeld enkel wegtransport, speelt een rol in de groei van intermodaal transport (Macharis et al., 2005). Deze voordelen maken dat intermodaal vervoer ook aan politiek belang wint. Deze vorm van transport wordt zelfs op Europees niveau gestimuleerd in de vorm van het 'Marco Polo Programma' om een duurzame groei in goederenvervoer te realiseren, waarbij goederenvervoer per vrachtwagen over lange afstanden plaats maakt voor transport per schip en per trein (Marco Polo - New ways to a green horizon, 2012). De Europese Commissie (2011) heeft bovendien een concreet actieplan uitgewerkt om de CO₂-uitstoot te reduceren met 60% tegen 2050. In dit plan wordt aangehaald dat mobiliteit van levensbelang is voor de Europese markt. Olie wordt echter steeds schaarser, waardoor nieuwe transportpatronen zoals intermodaal transport een vereiste zijn om grotere volumes te transporteren met een lagere uitstoot. De efficiëntie van deze transportmodi dient verder geoptimaliseerd te worden in de toekomst. Zo kan een betere integratie van diverse transportmodi de verhoging van het gebruik van intermodaal transport faciliteren. Daarom wordt als doel opgesteld tegen 2050 om 50% van wegvrachttransport te verplaatsen naar andere modi, wat bereikt dient te worden door de inzet van efficiëntere transportmodi en de ontwikkeling van aangepaste infrastructuur, zoals voor intermodaal transport.

Daarnaast is intermodaal vervoer sneller en betrouwbaarder in de zin dat leveringstijden voorspelbaarder zijn, op voorwaarde dat de terminal efficiënt werkt: treinen komen aan en vertrekken volgens een schema op eender welk moment van de dag. Het tijdstip waarop een trein op een bepaalde plaats aankomt, staat vast (Macharis en Bontekoning, 2004). Vervolgens kan aan de hand van een laadplan bepaald worden hoe laadeenheden van de ene naar de andere transportmodus overgezet worden. Terminals kunnen in diverse opzichten verschillen: lay-out, beschikbaar transportmaterieel, opslagmogelijkheden, operationeel beleid en volume van de containers (Corry en Kozan, 2006).

De laadplanning van treinen bestaat uit het toekennen van containers aan een specifieke locatie op wagons van een intermodale trein. De overslag van ladingen gebeurt in een intermodale terminal, het raakvlak tussen verschillende transportmodi, waarbij laadeenheden getransfereerd worden van of naar wagons door een verscheidenheid aan transportmaterieel ('handling equipment'). Feo en Gonzalez-Velarde (1995) geven aan dat een dergelijke intermodale terminal slechts rendabel kan zijn als wordt gestreefd naar een kostenminimalisatie van de terminal en van de uitgaande treinen, met aandacht voor een zeker niveau van dienstverlening. Daarnaast kan ook een maximalisatie van de bezettingsgraad van de treinen als doel vooropgesteld worden (Bruns en Knust, 2012). Het laadplan kan daarbij een grote invloed hebben op de efficiëntie van een intermodale terminal. Boysen et al. (2011) wijzen erop dat slechts 53% van de goederentreinen in Europa zijn bestemming met een vertraging van 30 minuten of minder bereikt. Lange wachttijden in het spoorwegemplacement zijn hiervan de grootste oorzaak.

De lange wachttijden in het spoorwegemplacement kunnen gereduceerd worden door een verhoging van de efficiëntie van het laadplan. Een hogere efficiëntie van de goederenbehandeling kan bekomen worden door het gebruik van verschillende optimalisatiemethoden om containers optimaal toe te wijzen aan een plaats op de trein. Hierbij wordt met verschillende factoren rekening gehouden. Een rechtstreekse overslag van containers is het voordeligst. Daarom dient de hoeveelheid dubbele goederenverplaatsingen ('double handling') en de beweging van het transportmaterieel geminimaliseerd te worden. Beide factoren dienen met elkaar afgewogen te worden: soms kan ervoor gekozen worden om de beweging van transportmaterieel te verhogen als hierdoor de hoeveelheid double handling vermindert. Daarnaast zijn de lay-out en opslagcapaciteit van terminals mede bepalend voor de efficiëntie van een laadterminal (Corry en Kozan, 2006). Tenslotte dient rekening gehouden te worden met de gewichtsverdeling op de trein, de ladingsgrootte en de beperkingen in het laadvermogen (Bruns en Knust, 2012).

Corry en Kozan (2006) geven aan dat de uitwerking van een efficiënt laadplan verschillende voordelen heeft. Door het verbeteren van de gewichtsverdeling zullen de remmen van een trein minder zwaar belast worden, verslijten de remmen minder snel en dalen de kosten voor onderhoud. Anderzijds hoeven operatoren in de terminals minder verantwoordelijkheid te dragen. Ze hoeven niet zelf te bepalen hoe de toewijzing van laadeenheden gebeurt en kunnen zich in plaats daarvan concentreren op het uitvoeren van hun werk met het laadplan als leidraad.

Bovendien geven Bontekoning et al. (2004) aan dat de overslag van ladingen leidt tot een stijging in de levertijd wat een verhoging van de totale transportkosten met zich meebrengt. Het is dus belangrijk dat deze overslag van goederen efficiënt en snel gebeurt. Een goed uitgewerkt laadplan, waarbij rekening wordt gehouden met diverse beïnvloedende factoren, kan leiden tot aanzienlijke kostenbesparingen en bijgevolg tot een verhoogd competitief voordeel voor de intermodale terminal (Corry en Kozan, 2006). Dit kan vervolgens leiden tot een verdere groei van het aandeel van intermodaal transport als vervoersmodus.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

Uit de probleemstelling blijkt dat een verhoging van de efficiëntie van de laadplanning van treinen in intermodaal transport tot een verdere groei kan leiden van het intermodaal transport. Daarom zal in deze thesis bekeken worden hoe een laadplan opgesteld kan worden om een zo groot mogelijke efficiëntie van de intermodale terminal te bekomen, rekening houdend met de verschillende factoren die meespelen bij de laadplanning van treinen. Hierbij kan volgende centrale onderzoeksvraag opgesteld worden als leidraad doorheen het proces van de laadplanning van treinen in intermodaal transport:

“Hoe kunnen containers zo efficiënt mogelijk worden toegekend aan een specifieke locatie op wagons van een intermodale trein?”

Om deze vraag te beantwoorden, worden verschillende optimalisatietechnieken en heuristieken die beschreven zijn in de literatuur bestudeerd, waarbij diverse factoren een belangrijke rol spelen.

1.3 Deelvragen

Om de centrale vraag te beantwoorden, wordt deze opgedeeld in enkele deelvragen. In de deelvragen wordt dieper ingegaan op het vinden van een efficiënte toewijzing van containers aan de verschillende locaties op wagons van een trein. Hierbij worden factoren die meespelen bij de laadplanning van treinen in een intermodale terminal geanalyseerd en gerelateerd aan het laadplan. Bovendien zal een onderzoek gevoerd worden naar de voorgestelde methoden in de literatuur om een laadplan op te stellen. Voor de kadering van deze thesis kunnen volgende deelvragen opgesteld worden:

1. Op welke manier worden ladingen in een intermodale terminal overgeladen?
2. Welke factoren bepalen de efficiëntie van het laadplan van een trein?

Nadat deze vragen beantwoord zijn, kunnen modellen opgesteld worden rekening houdend met de verschillende factoren die de efficiëntie van het laadplan bepalen om containers toe te wijzen aan de verschillende locaties op de trein. Hiervoor kan volgende deelvraag opgesteld worden:

3. Welke methoden worden in de literatuur aangehaald voor het opstellen van een laadplan voor treinen?

Tenslotte zal aan de hand van de praktijkstudie onderzocht worden hoe de besproken modellen uit de literatuur worden gebruikt in de praktijk. Deze vraag kan opgedeeld worden in drie delen:

4. Worden de theoretische modellen toegepast in de praktijk?
5. Welke methoden uit de literatuur worden toegepast in de praktijk?
6. Leiden de theoretische modellen tot verbeteringen in het laadplan ten opzichte van de werkwijze in de praktijk?

1.4 Kadering van planningsproblemen

Intermodale planningsproblemen zijn complexer dan planningsproblemen voor unimodaal transport doordat meerdere transportmodi, besluitnemers en types laadeenheden betrokken zijn in het proces (Caris, Macharis en Janssens, 2008). Het intermodale proces kan onderverdeeld worden in vier beslissingsniveaus en drie planningsniveaus.

Caris et al. (2008) relateren planningsproblemen in intermodaal transport aan vier besluitnemers, gebaseerd op de vier hoofdactiviteiten in intermodaal transport. De eerste categorie besluitnemers betreft drayage-operatoren, verantwoordelijk voor de planning van vrachtwagens tussen terminals en verzenders en ontvangers van ladingen. Daarnaast zorgen terminaloperatoren voor de overslag tussen weg en spoor. De derde categorie omvat netwerkoperatoren, die bevoegdheid hebben over de organisatie en infrastructuur van weg- of spoortransport. De laatste categorie betreft intermodale operatoren, de gebruikers van intermodale infrastructuur en diensten. Zij selecteren de meest geschikte route voor verzendingen doorheen het volledige intermodale netwerk.

Daarnaast zijn er drie klassieke planningsniveaus op basis van de tijdshorizon: het strategische, het tactische en het operationele planningsniveau (Caris et al., 2008). Strategische planning heeft de langste tijdshorizon. Deze planning wordt uitgevoerd door het hoger management en vereist grote kapitaalsinvesteringen op lange termijn. De tactische planning zoekt naar een efficiënte en rationele allocatie van bestaande middelen om de prestaties van het hele systeem te verbeteren. Tenslotte wordt de korte-termijn operationele planning uitgevoerd door het lokale management in een sterk dynamische omgeving waar tijd een belangrijke rol speelt. Het operationeel management moet beslissingen nemen terwijl veel onzekerheid meespeelt.

Bontekoning et al. (2004) geven aan dat managementbeslissingen over de laadvolgorde van treinen en de herverdeling van wagons en laadeenheden gebeuren op het operationele niveau. Hier kunnen drie soorten problemen onderscheiden worden: de planning van het herpositioneren van lege trailers en containers, het routeren van containers en de optimale verdeling van dubbel gestapelde ('double stack') wagons op de trein en tenslotte het toewijzen van trailers, laadbakken en containers aan de beschikbare wagons. Deze thesis situeert zich rond dit laatste probleem. Feo en González-Velarde (1995) stellen voor om enkel de containers die de terminal verlaten ('outbound containers') te bekijken. De laadeenheden op een binnenkomende trein ondergaan immers de omgekeerde procedure.

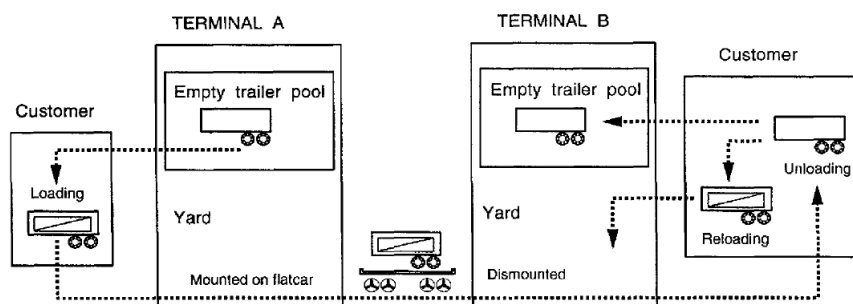
Caris et al. (2008) concluderen dat het aantal studies waarbij meerdere besluitnemers betrokken zijn alsook het aantal studies dat verschillende tijdshorizonten in rekening neemt nog steeds beperkt is. In het praktijkprobleem van deze thesis treedt Ewals Intermodal op als intermodale en drayage-operator en Haven Genk als terminaloperator. Meer coördinatie tussen de diverse besluitnemers is nodig om de intermodale transportstroom te verbeteren. Bovendien kan een grotere beschikbaarheid van hulpmiddelen en tools ter ondersteuning van het beslissingsproces bijdragen aan een betere integratie van het intermodale systeem als geheel.

1.5 De intermodale weg-spoorterminal

In deze sectie wordt getracht een antwoord te formuleren op de eerste deelvraag. Het proces dat de laadeenheid doorloopt vertrekkende van de verzender tot de eindbestemming wordt beschreven alsook de overslag van ladingen in de intermodale terminal.

1.5.1 Planning in de intermodale terminal

Macharis en Bontekoning (2004) beschrijven het laadproces als volgt. Van vertrek tot aankomst worden laadeenheden minstens twee keer overgeladen tussen vrachtwagen en trein. Dit gebeurt een eerste keer aan de beginterminal, waar de lading van de vrachtwagen wordt overgezet op de trein, en vervolgens aan de eindterminal, waar de lading terug op een vrachtwagen wordt geplaatst om zijn route te vervolgen naar de eindbestemming. Dit proces, dat de weg-spooruitwisseling van laadeenheden genoemd wordt, is in Figuur 1 weergegeven. Om vertraging in de rest van de transportketen te voorkomen en om hoge kosten te vermijden, dient de overslag van lading efficiënt en snel te gebeuren.



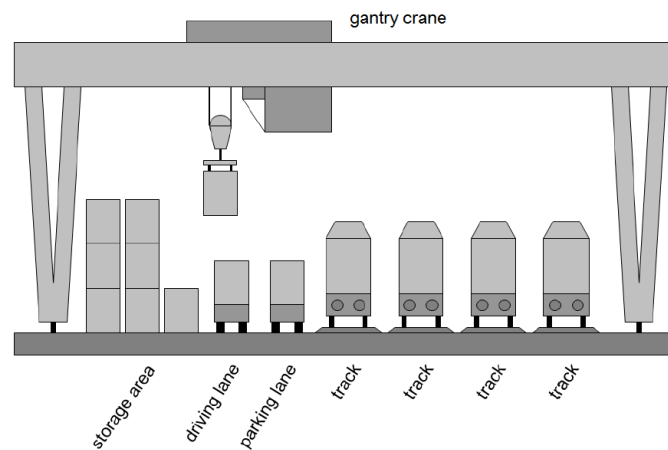
Figuur 1: intermodaal transport (Powell en Carvalho, 1998)

Een dergelijke weg-spoorterminal bestaat volgens de beschrijving van Macharis en Bontekoning (2004) uit verschillende onderdelen:

- een 'road gate', waar vrachtwagens de terminal binnenkomen en weggrijden;
- een 'rail gate', waar treinen de terminal binnenkomen of verlaten;
- een opslaggebied voor de lange-termijnopslag van laadeenheden (24 uur of meer);
- een buffergebied voor de tijdelijke opslag van laadeenheden;
- hefwerktuigen om treinen en vrachtwagens te laden en lossen;
- opslag- en transportmaterieel.

Boysen et al. (2011) stellen de terminal visueel voor zoals in Figuur 2. Treinen kunnen op verschillende sporen aankomen. Het transportmaterieel in de vorm van een portaalkraan ('gantry crane') kan de overslag tussen verschillende transportmodi alsook de verplaatsing van laadeenheden naar een tijdelijke opslagplaats faciliteren. Aankomende vrachtwagens worden doorverwezen naar de daarvoor voorziene rij- en parkeerstroken.

Vrachtwagens komen volgens een willekeurig proces aan in de terminal. Bij aankomst van een geladen vrachtwagen in een intermodale terminal zal de vrachtwagen eerst aanschuiven voor de administratie, waar aan de hand van het laadplan bepaald wordt of de vrachtwagen zijn lading bij de opslagplaats lost of dat de lading direct overgeplaatst wordt op een trein. Na het lossen van zijn lading kan de vrachtwagen opnieuw geladen worden.



Figuur 2: weg-spoor terminal (Boysen et al, 2011)

Treinen volgen een vast tijdschema. Van tevoren is gekend wanneer een trein zal vertrekken of aankomen. Bij aankomst wordt de trein meteen gelost en opnieuw geladen. De laadeenheden worden overgeplaatst naar een buffergebied, direct op een andere vrachtwagen, naar de opslagplaats of op een intern transportvoertuig dat de lading naar een opslagplaats brengt. In deze thesis ligt de focus op de manier waarop laadeenheden – containers, wissellaadbakken of trailers – in een intermodale terminal overgezet worden van de ene transportwijze op de andere. Macharis en Bontekoning (2004) geven aan dat het transportmaterieel aangepast dient te zijn aan deze types van laadeenheden. Terminals kunnen hiervoor terugvallen op diverse overslagtechnieken, lay-outs, operationele strategieën en dimensies zoals het beschikbaar aantal sporen, de opslagruimte en het transportmaterieel om laadeenheden te verplaatsen.

1.5.2 Dynamiek van het laadplan

Corry en Kozan (2006) geven aan dat het laadplan dynamisch moet zijn omdat de exacte aankomsttijden van vrachtwagens – zoals reeds vermeld – onzeker zijn. Terminals hebben vaak wel kennis over de verdeling van aankomsten van laadeenheden. Wanneer een laadplan dynamisch is, wil dit zeggen dat het laadplan in real-time wordt herzien bij elke nieuwe gebeurtenis: als een binnenkomende container gelost wordt van een slot of als een vrachtwagen aankomt. Vervolgens wordt de container toegewezen aan een slot.

Elke wagon kan verdeeld worden in één of meerdere slots, waarbij het aantal slots in een patroon gelijk is aan het aantal containers dat een wagon bevat (Corry en Kozan, 2008). Hierbij is het belangrijk dat de toewijzing van containers aan slots in minder dan een minuut gebeurt, omdat andere vrachtwagens of kranen wachten om een volgende transfer uit te voeren. Het herziene laadplan wordt vervolgens gecommuniceerd aan de vrachtwagenchauffeurs zodat zij weten waar ze hun vracht kunnen overladen. Ook bestuurders van het transportmaterieel weten zo waar een container geladen dient te worden.

2. LITERATUURSTUDIE: OPSTELLING VAN HET LAADPLAN

In deze literatuurstudie wordt een antwoord geformuleerd op deelvragen twee en drie. In sectie 2.1 wordt nagegaan welke factoren bepalend zijn voor de efficiëntie van een laadplan. Voor elke wagon zijn immers verschillende laadpatronen mogelijk. Het laadplan brengt de laadpatronen van alle wagons op een volledige trein samen. Daarnaast wordt het effect van de factoren goederenbehandeling en beweging van het transportmaterieel op de efficiëntie van het laadplan bekeken. Met een combinatie van deze elementen kunnen vervolgens in sectie 2.2 enkele modellen uit de wetenschappelijke literatuur geformuleerd worden voor de opstelling van een laadplan.

2.1 Bepalende factoren voor de efficiëntie van het laadplan van een trein

2.1.1 Laadpatronen

Laadeenheden kunnen opgesplitst worden in drie categorieën: containers, swap body's of wissellaadbakken en trailers (Bruns en Knust, 2012). Elke categorie is beperkt tot een eindig aantal mogelijke laadpatronen. Het aantal toegestane patronen voor een gegeven wagon is vooraf gedefinieerd en bepaalt alle mogelijke ordeningen van laadeenheden op de wagon (Corry en Kozan, 2008). De verschillende patronen of configuraties worden samengebracht in een laadplan, waarbij de patronen gestructureerd zijn dankzij slots. Mogelijke laadpatronen zijn weergegeven in Figuur 3, waarbij enkele configuraties K1, K2, K3, K4 en K5 worden afgebeeld. Bovenaan wordt een wagon in zijaanzicht afgebeeld, waarin de lengte van de wagon (18340), de lengte van de laadruimte (16450) en de afstand voor het onderstel (1330) aangeduid zijn. De cirkels met stippellijnen geven aan waar de wielen van een eventuele trailer geplaatst kunnen worden. De trailer wordt vastgezet met een koppelingsplaat zoals weergegeven links op de wagon.

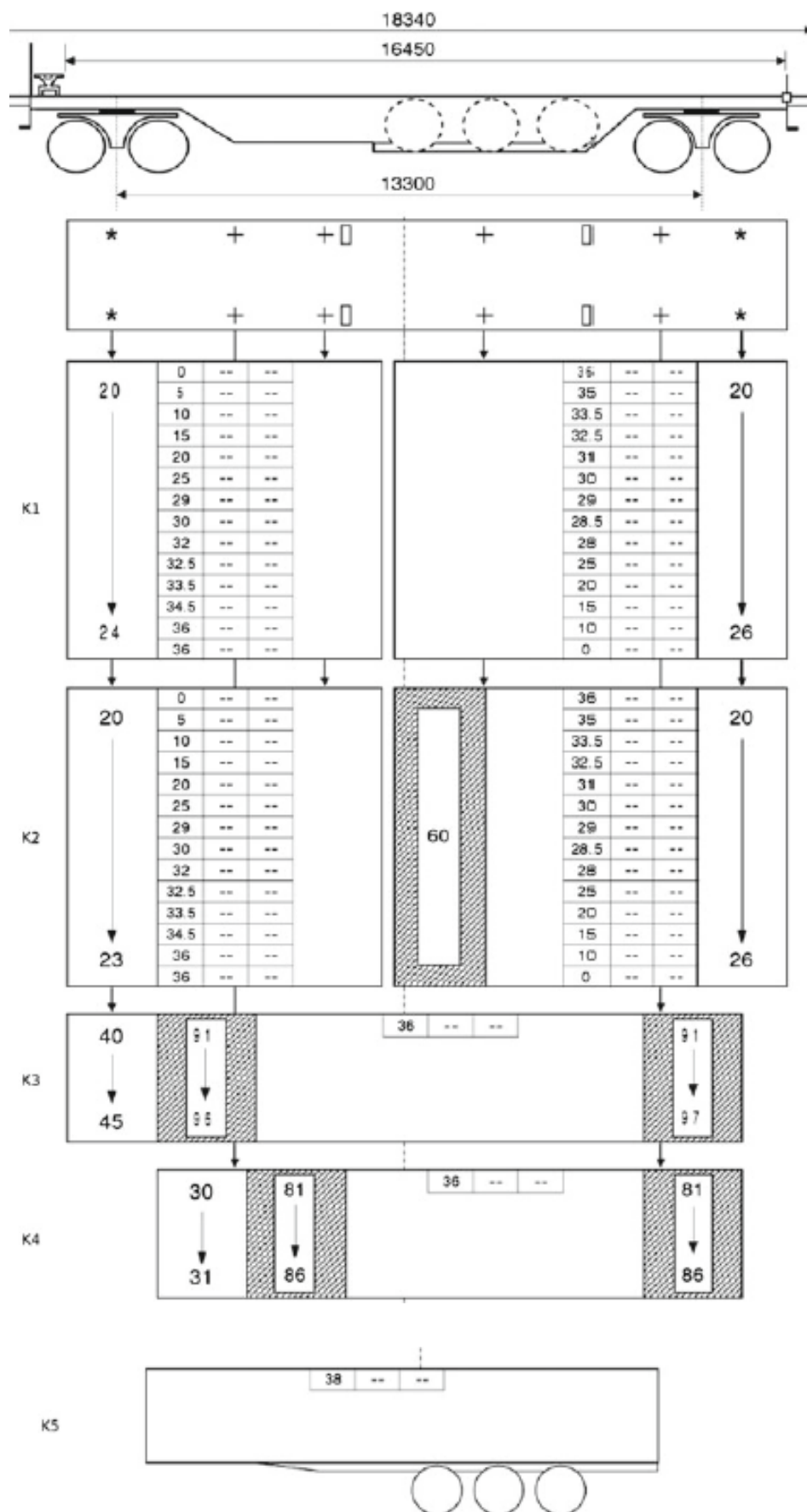
Op de tweede tekening is het bovenaanzicht van de wagon zichtbaar. De symbolen * en + geven de mogelijke posities van de pins respectievelijk aan de buitenzijde en de binnenzijde van de wagon weer, waarbij de verticale lijnen deze posities doortrekken naar onder. Deze pins dienen om de containers vast te zetten op de wagons. Als een configuratie gebruik maakt van een pin, eindigt een pijl bij de overeenkomstige configuratie.

De positie van elk slot beschrijft de positie van containers of laadeenheden op de wagon. De voorkeur wordt gegeven aan een maximaal aantal slots op de wagon. Configuratie K1 en K2 hebben bijvoorbeeld twee slots, terwijl K3, K4 en K5 slechts gebruik maken van 1 slot. Per configuratie wordt elk slot weergegeven als een rechthoek met daarin gewichtsbeperkingen voor laadeenheden. Per rij wordt het maximaal toegelaten laadvermogen gespecificeerd. Voor de eerste rij van configuratie K1 wordt bijvoorbeeld een leeg eerste slot met een gewicht van 0 ton gecombineerd met een laadeenheid op het tweede slot die maximaal 36 ton mag wegen. Het hoogste gecombineerde en toegestane gewicht kan geladen worden als het eerste slot een lading van 32 ton bevat en het tweede een lading van 28 ton. In sommige gevallen geldt ook een minimaal gewicht dat gerespecteerd moet worden, bijvoorbeeld als een zware container aan één

slot is toegewezen. Dan kan beslist worden om een minimaal gewicht op het tweede slot te plaatsen om de wagon in balans te houden.

Het gebied extern aan de rechthoek met de gewichtsbependingen geeft informatie over welke lengtetypes van laadeenheden geladen mogen worden. Alle lengtes binnen het interval zijn toegelaten. Voor K1 mag de lengte bijvoorbeeld tussen 20 en 24 voet liggen voor het linkerslot, en tussen 20 en 26 op het rechterslot. Een extern gebied met witte achtergrond geeft aan dat de laadeenheden symmetrisch zijn. De grijze externe zones geven weer dat de configuratie toegestane asymmetrische laadeenheden bevat, laadeenheden waarvan de overhang, de uitsteeklengte van laadeenheden ten opzichte van de wagon, links niet hetzelfde is als rechts op de wagon.

Omdat een eindig aantal laadpatronen mogelijk is, zijn de afmetingen van de lading en de mogelijkheden van de wagon wat betreft de grootte en afmetingen van de ladingen die stationeerbaar zijn op de wagon bepalende factoren voor het laadplan. Door een standaardisatie van laadeenheden kan de efficiëntie van een laadplan nog verhogen. Hoewel standaardisatie al relatief toegenomen is, is er nog steeds sterke variatie tussen laadeenheden, wagons en vrachtwagencontainers. Hierdoor zou een extra kostenbesparing gerealiseerd kunnen worden (Bontekoning et al., 2004). Daarom is het belangrijk om na te gaan in welke mate de afmetingen van de verschillende ladingen de efficiëntie van het laadplan beïnvloeden. In de praktijkstudie zal dit echter niet onderzocht worden, omdat afmetingen van de laadeenheden als gegeven beschouwd worden. Ewals Intermodal beschikt immers over een vast wagenpark met laadeenheden die een vaste dimensie hebben. Het bedrijf heeft veel variatie in zijn wagenpark, maar probeert het aantal laadeenheden met uitzonderlijke afmetingen in de mate van het mogelijke te reduceren.



Figuur 3: laadpatronen (Bruns en Knust, 2012)

2.1.2 Goederenbehandeling en beweging van het transportmaterieel

Corry en Kozan (2006) geven aan dat 'double handling' een belangrijke rol speelt in de efficiëntie van een laadplan. Double handling ontstaat als een laadeenheid niet meteen overgeladen kan worden op een andere vervoerswijze. De laadeenheid wordt dan neergezet in een tijdelijke buffer. Double handling dient zoveel mogelijk vermeden te worden, omdat dit een extra verplaatsing van de laadeenheid met zich meebrengt en dus extra tijd in beslag neemt om de actie te voltooien. Door een container rechtstreeks over te zetten, wordt een minder aantal bewegingen verkregen. Alles wat daarbij komt, kan de goederenbehandelingstijd nutteloos verhogen en kan opgesplitst worden in twee componenten: double handling en beweging van transportmaterieel.

- Double handling: ontstaat als de container wordt toegewezen aan een slot op de trein waar nog een andere container op staat. Dan dient de container tijdelijk te worden neergezet om plaats te maken op de trein.
- Teveel aan beweging van het transportmaterieel ('excess travel'): ontstaat wanneer een container die reeds toegewezen is aan een slot een nieuwe toewijzing krijgt door het continu veranderende laadplan. De vrachtwagen staat naast de plaats waar de container aanvankelijk opgehesen moest worden en het transportmaterieel brengt de container naar de nieuwe plaats op de trein.

Corry en Kozan (2006) wijzen er echter op dat de vermindering van de hoeveelheid goederenbehandeling vaak gepaard gaat met een minder goede gewichtsverdeling op de trein. De gewichtsverdeling is beter naarmate het gewicht eerder vooraan ligt om slijtage van de remmen te voorkomen. Een betere gewichtsverdeling is belangrijk omdat dit kan leiden tot kostenbesparingen. De remmen verslijten minder en minder onderhoud is nodig.

Daarnaast geven Corry en Kozan (2008) aan dat containers vastgepind dienen te worden met zogenaamde 'pins'. Pins die niet gebruikt worden, moeten verwijderd worden. De oorspronkelijke opstelling van deze klemmen wordt bepaald door de opstelling van de laadeenheden van de binnenkomende trein. Deze opstelling dient aangepast te worden aan het laadplan. Hierbij dient de benodigde tijd om de opstelling van dergelijke pins te veranderen geminimaliseerd te worden.

2.2 Modellen voor de opstelling van een laadplanning voor treinen

2.2.1 Inputs

Vaak wordt de treinplanning in bedrijven manueel uitgevoerd, wat veel tijd in beslag neemt. In de wetenschappelijke literatuur worden echter modellen beschreven die de opstelling van het laadplan automatiseren. Bij de opstelling van dergelijk laadplan wordt verondersteld dat het aantal wagons, de eigenschappen van elke wagon en elke laadeenheid vooraf gekend zijn. Deze elementen worden gebruikt als input in het model (Aggoun, Rhiat en Grassien, 2011). Elk type wagon heeft hierbij zijn eigen ladingsbeperkingen die samengebracht worden in een laadplan. Het laadpatroon voor elke afzonderlijke wagon wordt door de wagonproducent bepaald.

2.2.2 Logistieke componenten

In de treinplanning zijn er verschillende logistieke componenten die de optimale toewijzing van laadeenheden aan een plaats op de trein beïnvloeden (Aggoun et al., 2011). Zowel de trein, de laadeenheid, de wagon als de mogelijke configuraties zijn belangrijke elementen die de toewijzing bepalen. Een *trein* is beperkt tot een maximale lengte en dus een maximaal aantal wagons dat een trein kan transporteren. Bovendien geldt voor elke trein een maximaal totaal gewicht dat het kan transporteren. De *laadeenheid* heeft belangrijke eigenschappen zoals het leeggewicht, de spoorbreedte ('gauge'), de grootte en kenmerken van de inhoud, zoals bijvoorbeeld gevaarlijke stoffen die niet naast elkaar geplaatst mogen worden. De belangrijkste beperkingen op laadeenheden betreffen het totale gewicht en de inhoud van de container. De *wagon* behoort tot een bepaald type en heeft een leeggewicht. Ook dient rekening gehouden te worden met een beperkt aantal wagons waarbij elke wagon een bepaald aantal assen heeft. Het type wagon bepaalt de capaciteit van de wagon (het aantal TEU's – twenty foot equivalent unit), de lengte van de wagon en het maximaal toelaatbare gewicht. Daarnaast bestaat er een gewichtsbepijking voor verdere wagons en laadeenheden gehecht aan de voorgaande wagon en is er een beperking op het aantal containers per wagon. Tenslotte legt de *configuratie* – de beperkingen gesteld door de fabrikant aan de laadpatronen van de wagon – ook beperkingen op aan de optimale laadplanning. Op basis van deze eigenschappen van de relevante logistieke componenten kunnen volgende beperkingen opgesteld worden:

- elk containertype kan slechts op bepaalde wagons geplaatst worden;
- bepaalde families van laadeenheden zijn incompatibel met elkaar, zoals bijvoorbeeld gevaarlijke goederen die niet naast elkaar geplaatst mogen worden;
- elke wagon kan slechts een beperkt aantal laadeenheden dragen en er is een beperking op het maximale gewicht per wagon;
- de trein kan slechts een beperkt aantal containers (kardinaliteit) en een maximaal gewicht transporteren;
- voor elke wagon zijn er configuratiebeperkingen, aangegeven door de wagonfabrikant.

Naast de beperkingen dient ook een doelfunctie opgesteld te worden. In deze doelfunctie wordt bijvoorbeeld opgenomen dat alle geselecteerde laadeenheden toegewezen dienen te worden aan wagons, waarbij een maximalisatie van de bezettingsgraad wordt gehanteerd. Eventuele lege wagons kunnen daarna afgekoppeld worden. Als het aantal laadeenheden groter is dan het maximaal aantal beschikbare plaatsen, dient het aantal laadeenheden dat niet toegewezen wordt aan wagons op de trein geminimaliseerd te worden. Daarnaast dient de kost om elke laadeenheid in te zetten geminimaliseerd te worden. Dit kan zowel de kost voor een teveel aan beweging van het transportmaterieel als de kost voor meervoudige goederenbehandeling zijn. Ook de afstand van het massacentrum tot de voorkant van de trein kan geminimaliseerd worden om de asbelasting te minimaliseren en slijtage van de treinremmen te beperken.

2.2.3 Oplossingsmethoden

Om een goede oplossing te vinden op een korte tijd kan bij de opstelling van een laadplan gebruik gemaakt worden van heuristieken (Corry en Kozan, 2006). Per definitie is de heuristische selectie van laadpatronen niet noodzakelijk de optimale oplossing, wat niet wegneemt dat de bekomen oplossing wel een goede oplossing is. Een laadpatroon definieert hoeveel en welke types van laadeenheden geplaatst kunnen worden op een wagon en specificeert maximale gewichten voor deze laadeenheden (Bruns en Knust, 2012). Het laadplan wijst de laadeenheden toe aan slots op de trein (Corry en Kozan, 2006). Een efficiënte toewijzing van laadeenheden kan bereikt worden op verschillende manieren door de factoren beschreven in sectie 2.1 te combineren in modellen.

2.2.3.1 'Set-covering'-probleem

In een eerste model stellen Feo en González-Velarde (1995) het toekennen van ladingen aan de verschillende plaatsen op de wagon voor als een 'set covering'-probleem, dat opgelost kan worden met een lineaire relaxatie waarin de integere beperking op de beslissingsvariabelen tijdelijk wegvalt. Daarom kan dit model opgelost worden met een 'branch-and-bound'-methode. Hierin worden de kosten van vertrekkende containers geminimaliseerd, wat neerkomt op de minimalisatie van de gewogen som van het aantal gebruikte wagons nodig om de vertrekkende containers te vervoeren met de kost nodig om dat aantal wagons in te zetten. Dit is gebaseerd op het feit dat het laden van meer dan één trailer op dezelfde wagon resulteert in een hogere bezettingsgraad van de uitrusting. De bedoeling van dit model is dat alle ladingen aan een minimale kost behandeld worden. Dit 'set-covering'-probleem kan gezien worden als het basisidee voor de opstelling van een model voor de optimale toewijzing van laadeenheden aan een specifieke locatie op de trein. Vanuit dit model kunnen relatief eenvoudig uitbreidingen geformuleerd worden.

De definitie van de parameters die in dit model verwerkt worden, is als volgt:

$$\begin{array}{ll} a_{i,j,k} & \left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ als het toegelaten is om een trailer van type } j \text{ en een trailer van} \\ \text{type } k \text{ toe te wijzen aan een railcar/wagon van type } i \\ = 0 \text{ in alle andere gevallen} \end{array} \right. \\ R & = \text{set van wagontypes} \\ T & = \text{set van trailertypes} \\ n_{Ri} & = \text{aantal wagons van type } i \\ n_{Tj} & = \text{aantal trailers van type } j \end{array}$$

De beslissingsvariabele $x_{i,j,k}$ is een niet-negatieve integere variabele die het aantal keer dat trailerpaar (j,k) toegewezen wordt aan een wagon van type i weergeeft. Met deze definitie van de parameters en de beslissingsvariabele formuleren Feo en González-Velarde (1995) het model als volgt:

Minimaliseer

$$\sum_{i \in R} \sum_{j,k \in T} c_i x_{i,j,k} \quad (1.1)$$

Subject to

$$x_{i,j,k} \leq a_{i,j,k} n_{Ri} \quad i \in R \text{ en } j, k \in T \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in R} \sum_{k \in T} (x_{i,j,k} + x_{i,k,j}) \geq n_{Tj} \quad j \in T \quad (1.3)$$

$$\sum_{j,k \in T} x_{i,j,k} \leq n_{Ri} \quad i \in R \quad (1.4)$$

$$x_{i,j,k} \geq 0 \text{ en integer} \quad i \in R \text{ en } j, k \in T \quad (1.5)$$

Beperking (1.2) gaat na of de toewijzing van een trailerpaar aan een wagon toegelaten is. Beperking (1.3) zorgt ervoor dat tenminste het aantal trailers van elke type geladen is. Beperking (1.4) limiteert het aantal wagons dat beschikbaar is van elk type en (1.5) geeft aan dat de beslissingsvariabelen integer zijn en niet negatief.

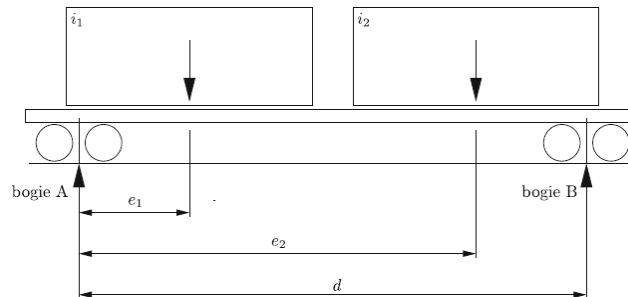
2.2.3.2 Logistiek wachtrijnetwerk

In een tweede model formuleren Powell en Carvalho (1998) het toewijzingsprobleem als een logistiek wachtrijnetwerk (logistics queueing network, LQN). In dit model kunnen verschillende types transportmaterieel en complexe operationele regels opgenomen worden. Er wordt nagegaan hoe verschillende combinaties van trailers en containers toegewezen kunnen worden aan een wagon. In feite wordt gebruik gemaakt van twee dynamische toewijzingsmodellen. Een eerste model wijst ladingen toe aan klantverzoeken. Bij deze benadering worden continu lege laadeenheden in opslagplaatsen bewaard, zodat deze wanneer de klant hierom vraagt onmiddellijk ingezet kunnen worden om lading op te halen per vrachtwagen en vervolgens via het spoor te vervoeren. Het tweede model wijst wagons toe aan ladingen. Beide modellen maken gebruik van een dynamische benadering omdat nieuwe informatie als input kan dienen voor het model. Laadeenheden worden dynamisch toegewezen doorheen de tijd, waardoor een real-time optimalisatie bekomen wordt. Omdat dit model een volledig netwerk in rekening brengt en de wagonstromen tussen terminals controleert zodat steeds voldoende wagons beschikbaar zijn, zal het concrete model niet geformuleerd worden. Corry en Kozan (2008) geven aan dat de focus van het model van Powell en Carvalho ligt op de strategische allocatie van middelen doorheen een intermodaal netwerk. Deze materie is weliswaar belangrijk, maar behandelt een te breed gebied voor het real-time operationele niveau van laadplanning waarover deze thesis handelt.

2.2.3.3 Model van Bruns en Knust (2012)

Bruns en Knust (2012) hanteren voor hun lineair programmeringsmodel de maximalisatie van de bezettingsgraad van de trein en een minimalisatie van de opstartkosten voor de verandering van configuratie van wagons en van de transportkosten – voor transport van de laadeenheden van hun huidige opslagplaats naar de toegewezen wagon – in de terminal. Daarnaast leggen ze extra gewichtsbependingen op, weergegeven in Figuur 4, waarbij e_1 en e_2 het massacentrum weergeven ten opzichte van onderstel A voor elke container. Deze figuur geeft een wagon weer met twee

onderstellen A en B en twee laadeenheden i_1 en i_2 . De afstand tussen beide onderstellen heeft lengte d . De massacentra worden verondersteld zich in het midden van de containers te bevinden. Omdat in sectie 2.2.3.4 een model besproken wordt met gelijkaardige doelfunctie en beperkingen, wordt niet dieper ingegaan op de formulering van het model van Bruns en Knust (2012).



Figuur 4: gewichtsverdeling (Brunst en Knust, 2012)

2.2.3.4 Load planning assignment model

Corry en Kozan (2006) zoeken in het *load planning assignment model* (LPA) bij de toewijzing van laadeenheden aan wagons naar een perfecte toewijzing door de minimalisatie van strafpunten toegekend aan dubbele goederenbehandeling, beweging van transportmaterieel en massadistributie. De minimale straf voor deze laatste wordt bereikt door de minimalisatie van de afstand van het massa-centrum tot de voorkant van de trein. Daarnaast wordt een onnodige beweging van transportmaterieel door het veranderen van het oorspronkelijk toegewezen slot voor een wachtende container bestraft. Om de hoeveelheid double handling te minimaliseren maken de auteurs gebruik van een heuristiek. Het model geeft aan dat er zeker double handling heeft plaatsgevonden als de container op de grond geplaatst is. Als de container is toegewezen aan een leeg slot en de container heeft niet op de grond gestaan, bestaat er zeker geen double handling. Al de rest wordt in dit model beschouwd als onzeker. Daarom bestraffen de auteurs double handling door er een hoge kost aan toe te kennen. Slots met wachtende vrachtwagens krijgen een minder hoge straf toegekend dan slots zonder wachtende vrachtwagens. Containers die zich buiten de terminal bevinden, krijgen nog geen extra kost toegekend voor teveel beweging of voor double handling. In dit model wordt een gelijke parameterwaarde en dus gelijke straf toegekend aan meer goederenbehandeling en aan gewichtsverdeling. Soms kan in een intermodale terminal echter beslist worden om aan de ene factor meer waarde te hechten dan aan de andere. Dan verschillen de parameterwaarden. Bovendien wordt in dit model gebruik gemaakt van prioriteiten:

- De hoogste prioriteit wordt toegekend aan binnenkomende containers op wagons met wachtende vrachtwagens.
- De volgende prioriteit gaat naar per trein binnengekomen containers die op de grond staan met wachtende trucks.
- De laagste prioriteit wordt toegekend aan binnenkomende containers op wagons zonder wachtende truck.

Dit multi-period model wordt gebruikt voor de opstelling en herziening van het laadplan en kan dus worden beschouwd als dynamisch. Intermodaal transport is immers gegroeid tot een dynamisch transportonderzoeksveld (Caris et al., 2008). Dit betekent dat er bij elke nieuwe gebeurtenis een aanpassing plaatsvindt in het model. Een herziening gebeurt bij één van de twee volgende gebeurtenissen: als een binnenkomende lading van de trein afgenomen wordt of als een vrachtwagen aankomt aan de terminal.

Het model start met bogen A_t voor alle mogelijke toewijzingen tussen slots en ladingen. Periodiek worden enkele bogen verwijderd om een nieuwe toewijzing van reeds geladen ladingen te vermijden. In periode 0 bevinden laadeenheden en slots zich in hun initiële, gegeven staat, waarvoor het model opgelost wordt. Bij een nieuwe gebeurtenis start een nieuwe periode. De staten worden geactualiseerd en het model wordt voor de nieuwe periode opgelost. In de laatste periode T wordt het model een laatste keer opgelost en wordt een uitkomst voor de kost Z_t verbonden aan het finale laadplan bekomen. De kosten worden in drie categorieën onderverdeeld met een schalingsparameter $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ voor respectievelijk dubbele goederenbehandeling, beweging van transportmaterieel en de massaverdeling op de trein. In de doelfunctie wordt de som van deze drie kosten geminimaliseerd. Voor de beslissingsvariabele wordt volgende definitie gehanteerd:

$$\rho_{ijt} \begin{cases} = 1 & \text{als container } i \text{ aan slot } j \text{ toegewezen is in periode } t \\ = 0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$$

De gebruikte parameters zijn als volgt:

T	Aantal tijdsperioden
n	Aantal slots en vertrekkende containers
S_t^u	set van slots met status u in periode t , waarbij $u \in \{N, V, L\}$ De slots kunnen zich in één van volgende staten bevinden: N niet leeg en geladen met een binnenkomende laadeenheid V leeg L niet leeg en geladen met een uitgaande container
d_j	positie in het platform van slot j
C_t^u	set containers in status u in periode t , waarbij $u \in \{O, A, K, G, L\}$ Voor de uitgaande laadeenheid zijn enkele opeenvolgende statussen mogelijk: O buiten de terminal A wachtende op een vrachtwagen aan de terminalpoort tot verdere instructies om naar een platform te rijden K op een vrachtwagen wachtend op het platform G op de grond op het platform, enkel bij dubbele goederenbehandeling L geladen op een wagon
m_i	massa van container i

A_t set bogen in bipartite grafiek voor periode t . Deze set bevat bogen die geladen containers aan hun corresponderende slots verbinden en bogen die alle resterende containers met de resterende slots verbinden:

$$A_t = \{(i, j) \mid (i \in C_t^L, j \in S_t^L, \rho_{ij(t-1)} = 1) \vee (i \in C_t^O \cup S_t^A \cup C_t^G \cup C_t^E, j \in S_t^N \cup S_t^V)\}$$

h_{ijt} booggewicht voor dubbele goederenbehandeling van i tot j in periode t , $(i, j) \in A_t$

d_{ijt} booggewicht voor beweging van transportmaterieel van i tot j in periode t , $(i, j) \in A_t$

c_{ij} Booggewicht voor massaverdeling van i tot j in periode t , $(i, j) \in A_t$

Een slot in staat V is beschikbaar om toegewezen of geladen te worden met een uitgaande laadeenheid. Ladingen kunnen niet toegewezen worden aan slots in staat N en kunnen niet geladen worden totdat het slot leeg is. Ladingen kunnen niet toegewezen worden aan slots in staat L .

Het model kan voor periode t als volgt opgesteld worden:

$$\text{Minimaliseer} \quad Z_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\gamma_1 h_{ijt} + \gamma_2 d_{ijt} + \gamma_3 c_{ij}) \rho_{ijt} \quad (2.1)$$

Subject to

$$\sum_{j:(i,j) \in A_t} \rho_{ijt} = 1 \quad i=1, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A_t} \rho_{ijt} = 1 \quad j=1, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\rho_{ijt} = 0 \text{ of } 1 \quad (i, j) \in A_t \quad (2.4)$$

Beperking (2.2) en (2.3) zorgen ervoor dat laadeenheden aan precies één slot toegewezen worden en een slot precies aan één laadeenheid. Beperking (2.4) geeft aan dat de beslissingsvariabelen integer zijn. Dit model stelt een vereenvoudiging van het treinplanningsprobleem voor, waarin technische beperkingen – zoals bijvoorbeeld voor gevaarlijke goederen – niet in acht worden genomen. Daarnaast wordt verondersteld dat alle containers dezelfde lengte hebben, een assumptie die niet geldt in de realiteit. Door het feit dat dit model relatief eenvoudig is, kan het wel snel opgelost worden.

2.2.3.5 Treinplanningsmodel

Omwille van de vereenvoudigde werkelijkheid waarvan het model uit 2006 vertrekt, stelden Corry en Kozan (2008) later een aangepast en realistischer model voor op basis van gemengd geheeltallig programmeren. Dit model is mathematisch gezien minder complex en bovendien is een decompositie van het model mogelijk. Ook is het model eenvoudig aanpasbaar aan andere intermodale transportsystemen, zoals bijvoorbeeld dubbel gestapelde laadeenheden of piggyback transport, waarbij volledige vrachtwagens op treinen geladen kunnen worden. Dit model wordt het treinplanningsmodel (TPM) genoemd. De basisassumptie is dat elke wagon beperkt is tot een eindig aantal mogelijke laadpatronen, waarbij de verzameling van toegestane laadpatronen voor een gegeven wagon vooraf gedefinieerd is en alle mogelijke posities van containers op de wagon

bepaalt. Het aantal slots in een patroon komt hierbij overeen met het aantal containers dat een wagon kan laden. In dit model wordt gezocht naar een opstelling van containers op een trein waarbij de minimalisatie wordt beoogd van de gewogen som van het vereiste aantal wagons met de tijd die het transportmaterieel nodig heeft om het laadplan uit te voeren. Op deze manier wordt getracht zoveel mogelijk containers vooraan op de trein te plaatsen, zodat lege wagons achteraan losgekoppeld kunnen worden. Alvorens het model te beschrijven, wordt de definitie van enkele indices, parameters en een variabele bepaald.

Indices:

i	containerindex waarbij $i=1,\dots,n$
j	wagonindex, waarbij $j=1,\dots,m$
a, b	laadpatroonindex
k, q	index voor slots in laadpatronen van een wagon

Parameters:

n	aantal uitgaande containers
m	aantal wagons
c_j	aantal mogelijke laadpatronen voor wagon j
s_{ja}	aantal slots in patroon a van wagon j
l_{ijk}	$\begin{cases} = 1 & \text{als container } i \text{ dezelfde dimensie heeft als slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \\ = 0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$

Variabelen:

U_{ijk}	$\begin{cases} = 1 & \text{als container } i \text{ toegewezen is aan slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \\ = 0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$
-----------	--

Voor een gegeven doelfunctie $Z(U)$ kan de basis van het treinplanningsmodel als volgt opgesteld worden.

$$\text{Minimaliseer} \quad Z(U) \quad (3.1)$$

Subject to

$$U_{ijk} \leq l_{ijk} \quad \forall i, \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (3.2)$$

$$\sum_i U_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (3.3)$$

$$\sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (3.4)$$

$$\sum_i \sum_{a=1}^{c_j} U_{ija1} \leq 1 \quad \forall j \quad (3.5)$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} = \sum_i s_{ja} U_{ija1} \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j \quad (3.6)$$

$$U_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (3.7)$$

Beperking (3.2) zorgt ervoor dat containers alleen toegewezen worden aan slots van dezelfde dimensie. Beperking (3.3) geeft aan dat slots toegewezen worden aan maximum één container. Om ervoor te zorgen dat containers toegewezen worden aan slechts één slot, wordt beperking (3.4) ingevoegd en zodat maximaal één patroon aan elke wagon wordt toegewezen, wordt beperking (3.5) opgesteld. Tenslotte zorgt beperking (3.6) ervoor dat elk slot dat toegewezen is aan een patroon, gevuld is. Beperking (3.7) geeft aan dat de beslissingsvariabele integer is.

Om dit model uit te breiden naar een dynamische omgeving waarin vrachtwagens willekeurig aankomen in de terminal, worden enkele beperkingen aan het model toegevoegd. De dynamische parameters worden met Griekse letters aangeduid. De waarde van deze parameters kan veranderen gedurende de tijdshorizon en hangt bovendien af van de huidige status van het systeem en van eerdere treinplanningen. Variabelen worden genoteerd met een hoofdletter.

De tijdshorizon start als de eerste container geboekt is op de trein. Dit initiële treinplan kan herzien worden naarmate meer containers geboekt worden. Bij elke herziening moet de huidige status van alle containers in het systeem gekend zijn, zodat de meest recente informatie gebruikt wordt om het treinplan te reviseren. Bovendien wordt verondersteld dat containers die geboekt waren op de voorgaande trein, gekend zijn. Als een container binnenkomt in de terminal, doorloopt hij de fasen zoals aangegeven in het vorige model: O, A, P, G en L, waarbij P overeenkomt met status K uit het model van Corry en Kozan (2006).

Bij elke herziening moet rekening gehouden worden met het feit dat het toewijzen van reeds geladen containers aan een nieuwe positie niet toegelaten is (beperking 3.8). De toewijzing van containers aan een positie die volledig of gedeeltelijk bezet is door een andere geladen container, is eveneens niet toegelaten. Beperking (3.9) geeft daarom aan dat geladen containers worden toegewezen aan slots die dezelfde positie en dimensie hebben als in het bestaande laadplan. Voor deze twee elementen worden extra **beperkingen** toegevoegd aan het model. Hiervoor worden enkele parameters gedefinieerd:

d_{jak}	platformlocatie van het middelpunt van slot k in patroon a van wagon j
e_{jakbq}	$\begin{cases} =1 & \text{als slot } k \text{ in patroon } a \text{ dezelfde positie en dimensie heeft als slot } q \text{ in patroon } b \\ & \text{van wagon } j \text{ (d.w.z.: } d_{jak} = d_{jbq} \text{ en } l_{iak} = l_{ibq} \forall i) \\ =0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$
ρ_i	huidige status van container i ($\rho_i \in O, A, P, G, L$)
φ_i	wagon toegewezen aan container i in het bestaande laadplan
κ_i	patroonslot toegewezen aan container i in het bestaande laadplan
α_j	patroon toegewezen aan wagon j in meest recente laadplan ($\alpha_j = 0$ initieel)

$$\sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} = 1 \quad \forall i : \rho_i = L \quad (3.8)$$

$$U_{ijk} \leq e_{jbq\alpha_j\kappa_i} \quad \forall i : \rho_i = L, j = \varphi_i, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (3.9)$$

In de **doelfunctie** wordt gestreefd naar een minimalisatie van de gewogen som van de treinlengte en de goederenbehandelingstijd, die opgedeeld kan worden in 3 componenten – dubbele goederenbehandeling, pinveranderingen en beweging van transportmaterieel. De treinlengte wordt geminimaliseerd door containers op het minimum aantal mogelijke wagons te laden. Dit gebeurt door een optimale toewijzing van laadpatronen aan de vooraf bepaalde volgorde van de wagons zodat het totaal aantal slots van een bepaalde lengte gelijk is aan het aantal containers van die lengte. Op deze manier wordt elke container in het laadplan voorzien en zullen er geen lege slots zijn. Om het aspect van de treinlengte toe te voegen, wordt een nieuwe variabele alsook een extra beperking toegevoegd. Beperking (3.10) geeft aan dat elke geladen wagon exact aan één ladingspatroon toegewezen wordt. Omdat elk laadpatroon dat niet leeg is, tenminste één slot bevat, geeft de sommatie over het eerste slot van alle laadpatronen de waarde 1 als een gegeven wagon niet leeg is. Deze beperking geldt voor alle j , waardoor N groter dan of gelijk dient te zijn aan de grootste index van alle geladen wagons. Hiermee wordt de treinlengte bepaald.

$$\begin{array}{ll} N & \text{aantal wagons gebruikt op de trein} \\ N \geq \sum_i \sum_{a=1}^{c_j} j U_{ija1} & \forall j \end{array} \quad (3.10)$$

Voor de minimalisatie van de goederenbehandelingstijd worden enkel de aspecten die voorspelbaar beïnvloed worden door het laadplan, behandeld. De eerste component van de goederenbehandelingstijd omvat *dubbele goederenbehandeling*. Hiervoor worden volgende parameters toegevoegd aan het model:

$$\begin{array}{l} \gamma_i \left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ als container } i \text{ ooit op de grond heeft gestaan} \\ \quad \text{(d.w.z. } \rho_i=G, \text{ of } \rho_i=L \text{ met } \rho_i=G \text{ in een eerder laadplan)} \\ = 0 \text{ in alle andere gevallen} \end{array} \right. \\ \theta_{jak} \left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ als slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \text{ overlapt met een inkomende container} \\ \quad \text{wachtende om gelost te worden van wagon } j \\ = 0 \text{ in alle andere gevallen} \end{array} \right. \end{array}$$

Eveneens wordt een schalingscoëfficiënt toegevoegd:

$$\omega_{ijk} \quad \text{schalingsparameter voor dubbele goederenbehandeling van container } i \text{ als deze toegewezen is aan slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \quad (0 \leq \omega_{ijk} \leq 1)$$

Met behulp van voorgaande parameters en schalingscoëfficiënt kan volgende vergelijking opgesteld worden, waarbij de eerste term van DH een constante is die het aantal containers weergeeft dat reeds op de grond geplaatst werd. Omdat de factor constant is, zou deze zonder impact op het laadplan weggelaten kunnen worden. De factor geeft echter nuttige informatie, omdat er op deze manier een zinvolle vergelijking kan plaatsvinden tussen de streefwaarden bij herzieningen van het laadplan op verschillende momenten in de planningshorizon.

$$DH = \sum_i \gamma_i + \sum_i \sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} \omega_{ijk} \theta_{jak} U_{ijk} \quad (3.11)$$

Als container i op de grond gestaan heeft, is $\gamma_i=1$ in deze vergelijking. Dan kan w_{ijk} voor alle (j,a,k) gelijkgesteld worden aan nul, zodat dubbele goederenbehandeling slechts éénmalig plaats kan vinden. Als container i echter nog niet op de grond heeft gestaan, geldt dat $\gamma_i=0$ en is de tweede term van DH van belang. Dan is slot (j,a,k) bezet door één of meerdere inkomende containers die wachten om gelost te worden, wat betekent dat $\theta_{jak}=1$. Er bestaat dan de mogelijkheid dat het slot waarop deze container geladen dient te worden, nog bezet is, waardoor container i tijdelijk op de grond geplaatst dient te worden. Dubbele goederenbehandeling is dan een noodzakelijk gevolg. Hierdoor dient container i tijdelijk op de grond geplaatst te worden en zal dubbele goederenbehandeling een noodzakelijk gevolg zijn. Het risico dat dit gebeurt, wordt gekwantificeerd dankzij ω_{ijk} . Dit risico is het hoogst bij status O , A of P van de uitgaande containers en hangt af van de status van de binnenkomende container(s) die container i blokkeren.

Parameter:

$$\hat{\theta}_{jak} \begin{cases} = 1 \text{ als tenminste één container die slot } (j,a,k) \text{ blokkeert, wacht op een aankomende vrachtwagen} \\ = 0 \text{ in alle andere gevallen} \end{cases}$$

$\hat{\theta}_{jak}$ komt overeen met θ_{jak} , maar deze laatste ziet binnenkomende containers niet als blokkering van een slot wanneer vrachtwagens aangekomen zijn om ze op te halen

Met deze definities kan ω_{ijk} bepaald worden als functie van ρ_i en $\hat{\theta}_{jak}$. Dit kan bereikt worden door toewijzingen van containers aan slots te groeperen in enkele categorieën waarin elk lid van eenzelfde categorie ongeveer evenveel kans heeft om dubbele goederenbehandeling te ondergaan. De container-slot toewijzing (i,j,a,k) met $\theta_{jak} = 1$ valt onder één van onderstaande categorieën:

1. $\rho_i=A$ of $\rho_i=P$, $\hat{\theta}_{jak}=1$: container i is aangekomen aan de terminal en wordt geblokkeerd door ten minste één binnenkomende container die wacht op een vrachtwagen die nog moet aankomen
2. $\rho_i=O$, $\hat{\theta}_{jak}=1$: container i is nog niet aangekomen aan de terminal en wordt geblokkeerd door ten minste één binnenkomende container die wacht op een aankomende vrachtwagen
3. $\rho_i=A$ of $\rho_i=P$, $\hat{\theta}_{jak}=0$: container i is aangekomen en wordt geblokkeerd door 1 of meer inkomende containers, waarbij voor elke container vrachtwagens wachten
4. $\rho_i=O$, $\hat{\theta}_{jak}=0$: container i is nog niet aangekomen en wordt geblokkeerd door 1 of meer binnenkomende containers, waarbij voor elke container vrachtwagens wachten

Met elk van deze categorieën komt een waarde voor ω_{ijk} overeen, waarbij w_1 tot en met w_4 constanten zijn en $0 \leq w_4 \leq w_3 \leq w_2 \leq w_1 \leq 1$. Dit betekent dat uitgaande containers die geblokkeerd worden door inkomende containers waarvoor nog geen vrachtwagen beschikbaar is, de hoogste kans hebben op dubbele goederenbehandeling.

$$\omega_{ijak} = \omega(\rho_i, \hat{\theta}_{jak}) = \begin{cases} w_1, \rho_i = A \text{ of } \rho_i = P, \hat{\theta}_{jak} = 1 \\ w_2, \rho_i = 0, \hat{\theta}_{jak} = 1 \\ w_3, \rho_i = A \text{ of } \rho_i = P, \hat{\theta}_{jak} = 0 \\ w_4, \text{in alle andere gevallen} \end{cases} \quad (3.12)$$

Een tweede component van de goederenbehandelingstijd betreft de *verplaatsing van pins*, waarbij de plaats van deze pins bepaald wordt door hun posities op de binnenkomende trein. Het kost immers tijd om pinnen te verplaatsen of toe te voegen. Daartoe wordt een parameter toegevoegd:

p_{ja} aantal benodigde pinveranderingen als wagon j toegewezen is aan patroon a

Voor een gegeven wagon j wordt het laadpatroon bevestigd door het bestaan van een container die toegewezen is aan het eerste slot. Dit wil zeggen dat er een i bestaat zodat $U_{ija1} = 1$. Wanneer het laadpatroon bepaald is, is ook gekend hoeveel pinveranderingen nodig zijn. Als een wagon geen containers toegewezen krijgt, wordt de wagon toegewezen aan een leeg laadpatroon, waarbij geen pinveranderingen nodig zijn. De hoeveelheid pinveranderingen PC wordt als volgt berekend:

$$PC = \sum_j \sum_i \sum_{a=1}^{c_j} p_{ja} U_{ija1} \quad (3.13)$$

Een derde component van de goederenbehandelingstijd betreft de beweging van transportmaterieel ('carry travel'). Omdat voor deze component de locaties van laadeenheden gekend dienen te zijn, wordt hier in dit onderzoek niet verder op ingegaan. In het praktijkprobleem is deze component immers niet relevant voor Ewals Intermodal, omdat dit voor het bedrijf geen meerwaarde biedt in het laadplan en geen invloed heeft op treinplanningsbeslissingen. De locaties van laadeenheden vallen onder de bevoegdheid van Haven Genk.

Op basis van voorgaande elementen kan nu een gecombineerde doelfunctie opgesteld worden, waarbij g_1 en g_2 schalingsparameters zijn voor respectievelijk goederenbehandelingstijd en treinlengte. $t^{(mv)}$ en $t^{(pc)}$ zijn respectievelijk de tijd nodig voor één containertransfer en één pinverandering.

$$\text{Min } Z = g_1 t^{(mv)} DH + t^{(pc)} PC + g_2 N \quad (3.14)$$

Tenslotte moet opgemerkt worden dat ook operationele beperkingen – zoals de massalimiet op wagons, gekoelde containers, groeperingen per bestemming en gevaarlijke goederen – geïncorporeerd kunnen worden in dit treinplanningsmodel. Ter illustratie zal de beperking voor gevaarlijke goederen uitgewerkt worden, waarbij volgende parameters worden toegevoegd:

$d_{ih}^{(sep)}$ vereiste scheidingsafstand tussen containers i en h
 l_i lengte van container i

De vereiste afstand tussen twee containers met gevaarlijke goederen moet hierbij vooraf gekend zijn, bijvoorbeeld op basis van de categorieën gevaarlijke goederen. Om ervoor te zorgen dat laadeenheden voldoen aan de benodigde scheidingsafstand, wordt een extra beperking ingevoegd:

$$\left| \sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} d_{jak} U_{ijak} - \sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} d_{jak} U_{hjak} - \left(\frac{l_h + l_i}{2} \right) \right| \geq d_{ih}^{(sep)} \quad \forall i, h: h \geq i \quad (3.15)$$

Met alle voorgaande gegevens kan een model opgelost worden, maar de rekentijd is zeer lang. Omdat aankomende vrachtwagens in een beperkte tijd instructies moeten krijgen, dient het model in korte tijd opgelost te worden. Dit kan bereikt worden door de opstelling van een submodel S_1 , door het gebruik van lokale zoekmethoden of simulated annealing. Voor de uitwerking van het submodel S_1 worden enkel laadpatronen in acht worden genomen, de container-slottoewijzing wordt genegeerd. Laadpatronen worden toegewezen aan elke wagon om een minimalisatie van de gewogen som van de treinlengte met het aantal pinverplaatsingen te bekomen. In dit submodel zijn de definities van een aantal parameters en variabelen aangepast. Volgende notatie geldt:

n_{jar}	aantal slots in patroon a van wagon j voor container type r
n_r	aantal containers van klasse r ($r=1, \dots, n^{klasse}$)
W_{ja}	$\begin{cases} = 1 \text{ als patroon } a \text{ toegewezen wordt aan wagon } j, \\ = 0 \text{ in alle andere gevallen} \end{cases}$

$$\text{Min} \quad Z_{S1} = g_1 t_{pc} \sum_j \sum_{a=1}^{c_j} p_{ja} W_{ja} + g_2 N \quad (4.1)$$

Subject to

$$\sum_{a=1}^{c_j} W_{ja} \leq 1 \quad \forall j \quad (4.2)$$

$$\sum_{a=1}^{c_j} n_{jar} W_{ja} = n_r \quad \forall r \quad (4.3)$$

$$N \geq j \sum_{a=1}^{c_j} W_{ja} \quad \forall j \quad (4.4)$$

$$W_{ja} \in \{0,1\} \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j \quad (4.5)$$

Dankzij beperking (4.2) kunnen wagons maximaal aan één patroon toegewezen worden. Beperking (4.3) zorgt ervoor dat het aantal slots voor een specifieke containerklasse gelijk is aan het vereiste aantal slots. Beperking (4.4) geeft aan dat N gelijk moet zijn aan het aantal wagons waarvan gebruik wordt gemaakt voor de trein. De niet-negativiteit van de integere beslissingsvariabele wordt weergegeven in beperking (4.5).

In dit model maken de auteurs gebruik van volgende waarden voor de parameters:

$g_1 = 0.0001$	$w_1 = 0$
$g_2 = 1$	$w_2 = 0.75$
$t_{(mv)} = 90$	$w_3 = 0$
$T_{(pc)} = 30$	$w_4 = 1$

De lage waarde voor g_1 ten opzichte van g_2 wordt verklaard door het feit dat de component voor de goederenbehandeling waarden geeft in de orde van 1000 seconden. Daarnaast zijn w_2 en w_3 bepaald op basis van uitgevoerde experimenten.

2.2.4 Onzekerheid

Veel parameters benodigd voor de opstelling van een laadplanningsmodel zijn echter niet exact gekend. Daarom stellen Bruns, Goerigk, Knust en Schöbel (2013) een robuuste optimalisatie voor. Omdat een robuuste oplossing gebaseerd is op het slechtste scenario, garandeert deze oplossing dat alle mogelijke scenario's toegestaan zijn. Voor deze optimalisatie bestaan twee benaderingen. Enerzijds bestaat het *strikt robuuste* laadplan, waarbij verondersteld wordt dat de oplossing niet meer veranderd kan worden wanneer het plan geïmplementeerd is. Anderzijds biedt de *aanpasbare robuuste* laadplanning aan de planner de mogelijkheid om de planning bij te sturen wanneer de exacte waarden voor de onzekere parameters bekend worden. Beide benaderingen kunnen toegepast worden op laadplanningsproblemen zoals in Bruns en Knust (2012).

De treinplanning kan opgedeeld worden in twee fasen, namelijk de fase voorafgaande aan het laden en de planning tijdens het laden van de trein. De eerste betreft de *planning voorafgaande aan de effectieve treinlading*, waarbij configuraties die bepalen hoeveel en welke types van laadeenheden geplaatst moeten op een wagon vooraf bepaald zijn. Informatie over de treinwagons en de laadeenheden die op de trein geplaatst dienen te worden, werd doorgegeven via het boekingssysteem aan de terminaloperator. Beide gegevens zijn echter onzeker. Het aantal wagons ligt nog niet vast. Eén of enkele wagons kunnen immers beschadigd zijn en kunnen dus niet geladen worden. Daarnaast is de informatie over het exacte gewicht of de overhang vaak fout. Voor de *planning tijdens het laden* van de trein is alle informatie bekend, zodat alle onzekerheid weggenomen wordt. De configuraties kunnen vanaf dat moment niet meer veranderd worden. Als de toewijzing van laadeenheden aan wagons op dat moment niet toegestaan blijkt te zijn – bijvoorbeeld wanneer de gewichtsbependingen niet worden nageleefd –, dan kan het gebeuren dat de toewijzing van laadeenheden aan de trein aangepast dient te worden of dat sommige laadeenheden zelfs niet op de trein geplaatst kunnen worden.

In de periode waarin veel informatie onzeker is, is het van cruciaal belang om een toegestane lading van de trein te garanderen, onafhankelijk van hoe slecht de informatie in de planningsfase voorafgaande aan de treinlading ook is. Om deze reden is een robuuste benadering nodig in de treinplanning. Onder de strikt robuuste benadering moet de toewijzing voor alle mogelijke scenario's die pas bekend worden in de effectieve ladingsfase toegestaan zijn. Aangezien dit leidt tot zeer strenge oplossingsmethoden, worden twee alternatieven voorgesteld. Eén alternatief reduceert de onzekerheid tot de meest waarschijnlijke scenario's, een ander alternatief dat bekend staat als aanpasbare robuustheid staat toe om de toewijzing van laadeenheden aan te passen in de planning tijdens het laden.

Om de robuuste benadering toe te voegen aan de modellen, dienen de gelijkheidsbeperkingen aangepast te worden, zodat een oplossing gevonden kan worden die toegestaan is voor elk mogelijk scenario. Daarnaast dienen de waardes van hulpvariabelen bepaald te kunnen worden wanneer meer informatie over het scenario bekend is en worden deze geëlimineerd als beperkingen uit het model, omdat deze informatie geen keuze van de besluitnemer bevat, maar voortvloeit uit deze beslissingen.

De meest relevante onzekere parameters betreffen de uitsteeklengte ('overhang') van laadeenheden op de wagon, de gewichten van de laadeenheden en de uitval van een wagon door defecten. De lengte van de overhang verschilt vaak van de overhang die gespecificeerd is door het boekingssysteem. De parameter u_i voor elke laadeenheid i varieert binnen een interval $[u_i^{min}, u_i^{max}]$, waardoor volgende vergelijking bekomen wordt:

$$\mathcal{U}_1 = \{u \in \mathbb{R}^n: u^{min} \leq u \leq u^{max}\}$$

De gewichten g_i van de laadeenheden verschillen vaak en kunnen gemodelleerd worden in een interval:

$$\mathcal{U}_2 = \{g \in \mathbb{R}^n: g^{min} \leq g \leq g^{max}\}$$

Tenslotte kan het voorkomen dat een wagon defect is en bijgevolg geen laadeenheid toegewezen kan worden aan deze wagon. Daarom wordt een defectparameter $f_j \in \{0,1\}$ toegevoegd die aangeeft dat wagon j defect is als f_j gelijk is aan nul. Door de toevoeging van deze parameter in het model zal geen laadeenheid toegewezen worden aan wagon j als deze defect is.

3. PRAKTIJKSTUDIE

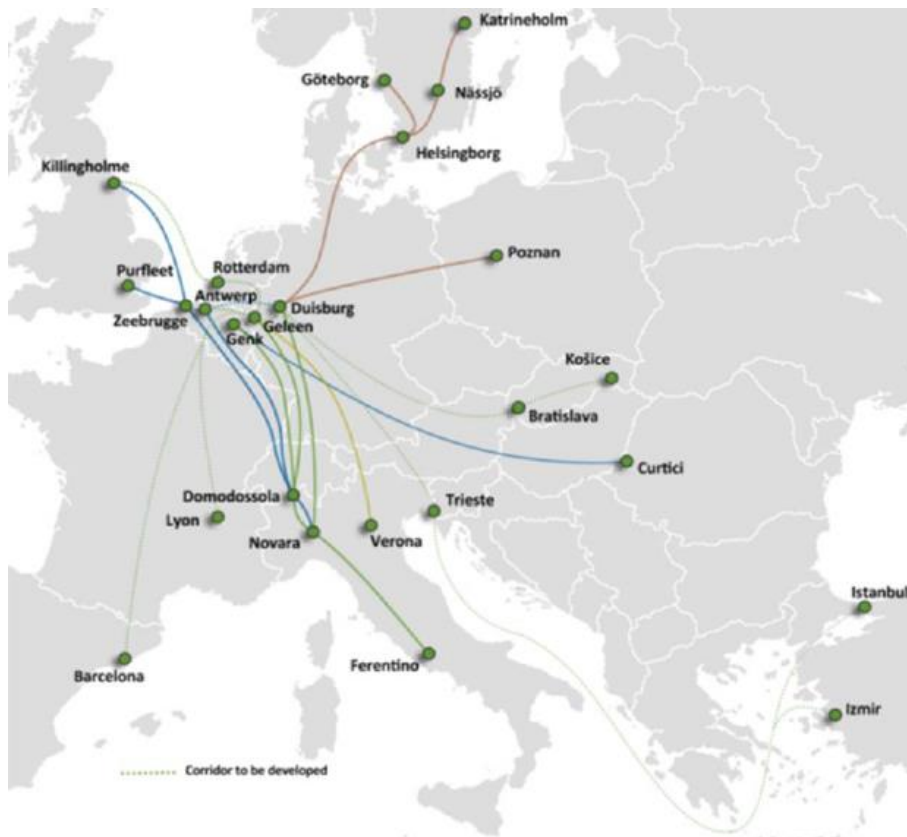
In dit hoofdstuk zal onderzocht worden of en in welke mate de theoretische modellen en bevindingen uit de literatuurstudie omtrent de laadplanning van treinen in de praktijk toegepast worden. Hiervoor wordt de treinplanning geanalyseerd van het bedrijf Ewals Intermodal, gelegen op de site van Haven Genk. Een korte introductie omtrent Ewals Intermodal is terug te vinden in sectie 3.1. Dan volgt een beschrijving van het transportmaterieel en de uitrusting die het bedrijf ter beschikking heeft in sectie 3.2 en 3.3, waarna in sectie 3.4 geanalyseerd wordt op welke manier de laadplanning van treinen in de praktijk gebeurt binnen Ewals Intermodal. Hierbij wordt aandacht besteed aan wat treinplanners belangrijk achten bij de opstelling van een treinplanning en waarop wordt gelet bij de beslissing om laadeenheden op een bepaalde locatie op de trein te plaatsen. In sectie 3.5 wordt de beschikbare wetenschappelijke literatuur vergeleken met de praktijk. Er zal nagegaan worden of en in welke mate de theoretische modellen worden toegepast in de praktijk. Tenslotte kunnen de gegevens en modellen uit de literatuurstudie afgetoetst worden met de werkwijze in de praktijk door de opstelling van een model voor een concrete trein in sectie 3.6. De werkelijke treinplanning zoals uitgevoerd door Ewals Intermodal wordt vergeleken met het resultaat van het opgestelde model voor diezelfde trein.

3.1 Introductie – Ewals Intermodal

Ewals Intermodal is sinds zijn oprichting een pionier in intermodaal transport voor de verbindingen Italië – Benelux en Rijn-Ruhrgebied – Verenigd Koninkrijk. Het startte zijn eerste intermodale activiteiten al in 1986 binnen Ewals Cargo Care met deur-tot-deur intermodale transporten en is uiteindelijk in 2011 als onafhankelijke entiteit van Ewals Cargo Care opgericht in vier landen: België (Genk), Nederland (Moerdijk), Duitsland (Duisburg) en Italië (Novara). Naast het voor- en natransport per vrachtwagen beheert het bedrijf op dit moment eigen treinen tussen Genk en Novara en tussen Geleen en Novara. In Novara bevindt zich een opslagplaats van waaruit verder getransporteerd kan worden. Sinds september 2013 is ook de nieuwe Railterminal-Chemelot RTC te Geleen (NL) in gebruik genomen om in te spelen op de nood aan een betere infrastructuur waarbij langere treinen geladen kunnen worden in de industriële regio Chemelot te Geleen. Vanuit RTC – een joint venture met Meulenberg Transport en Haven Antwerpen – zullen bovendien nieuwe verbindingen gemaakt worden met onder andere Rotterdam en Verona. In Figuur 5 is een visueel overzicht terug te vinden van alle verbindingen die Ewals Intermodal aanbiedt. In het praktijkonderzoek van deze thesis zullen voornamelijk de intermodale activiteiten op de site van Haven Genk nader bekeken worden.

De logistieke sector is erg competitief. Logistieke bedrijven richten daarom de aandacht op een verhoging van de servicegraad voor klanten. In dit kader kiest Ewals Intermodal voor treinen in eigen beheer om een betere service aan de klanten te bieden. Enkel als de capaciteit onvoldoende is of als een verbinding niet door het bedrijf zelf aangeboden wordt, wordt gebruik gemaakt van 'overflow', waarbij andere treinoperators ingeschakeld worden. Ewals Intermodal heeft door de keuze voor intermodaal transport het voordeel om meer tonnage per verzending te laden en zo de transportkost per ton te verlagen. Bovendien rijden wekelijks 46 eigen treinen met elk 40

laadeenheden, wat betekent dat meer dan 1600 vrachtwagens per week van de weg gehouden worden. Hiermee reduceert Ewals Intermodal de CO₂-emissies over al zijn treinverbindingen met 47,5 miljoen kilogram per jaar (Ewals Intermodal company presentation, 2013).



Figuur 5: verbindingen (Ewals Intermodal company presentation, 2013)

3.2 Uitrusting: laadeenheden

Ewals Intermodal beschikt over circa 1800 laadeenheden van zeven verschillende types. Een belangrijk voordeel hiervan is dat klanten een goede service ervaren, maar voor de treinplanning betekent dit dat het planningsproces beduidend complexer wordt. In Tabel 1 is een overzicht opgesteld van de verschillende laadeenheden die Ewals Intermodal in oktober 2013 in zijn bezit had, alsook hun specifieke eigenschappen. Het tarragewicht is het leeggewicht van de laadeenheid, het laadvermogen geeft het maximaal toegestane laadvermogen aan. In het vervolg van deze sectie wordt elk type laadeenheid kort toegelicht. Overige eigenschappen inherent aan de diverse types laadeenheden zijn samengebracht in Tabel A.1 tot en met Tabel A.7 van bijlage 4, waarbij de laadopening de grootte van de vulopening aangeeft. De laadeenheden met een spoel of 'coil' hebben de mogelijkheid om stalen spoelen te vervoeren. Voor laadtypes anders dan deze uit Tabel 1 wordt beroep gedaan op partners (Ewals Intermodal company presentation, 2013).

Tabel 1: uitrusting Ewals Intermodal en hun eigenschappen

Type	Aantal	Grootte (m)	Tarra - laadvermogen (kg)
Curtainside swap body – 30 voet	100	9,29	3.500 - 28.000
Curtainside swap body – 45 voet	335	13,72	4.924 - 28.000
		13,72	4.920 - 28.000
		13,95	5.200 - 28.000
		13,95	6.200 - 27.500
Bulk container – 30 voet	950	9,12	2.980 - 30.000
		9,12	2.940 - 30.000
		9,12	3.000 - 30.000
		9,12	2.940 - 30.000
Pallet wide box container – 45 voet	175	13,71	4.500 - 28.000
		13,71	4.900 - 28.000
Mega huckepack trailer – 45 voet	10	13,62	7.940 - 29.000
Trailer met coil well – 45 voet	15	13,95	7.500 - 29.000
Coil flat – 20, 20, 25 en 25 voet	195	6,10	2.850 - 30.000
		6,58	2.900 - 30.000
		7,15	2.900 - 30.000
		7,15	2.850 - 30.000

3.2.1 Curtainside swap body – 30 voet

Ewals Intermodal beschikt over diverse swap body's van 30 voet (zie Figuur 6) . Deze wissellaadbakken hebben een capaciteit van 54 m³, equivalent met 22 enkel geladen europallets van 80 bij 120 centimeter of 18 blockpallets van 100 bij 120 centimeter. De vloer is gemaakt uit hard hout en het dak kan geopend worden. Bovendien bestaat de mogelijkheid om een 'coil' of stalen spoel in de lengterichting te plaatsen. Deze laadeenheid bevat 12 ladingsringen waarmee ladingen vastgezet kunnen worden.



Figuur 6: swap body – 30 voet

3.2.2 Curtainside swap body – 45 voet

De 45-voet swap body heeft een capaciteit van 82 tot 86 m³ of 33 europallets tot 26 blockpallets. Deze laadeenheid is afgebeeld in Figuur 7 en beschikt over een harde, houten vloer, laadringen en een schuifdak.



Figuur 7: swap body - 45 voet

3.2.3 Bulk container – 30 voet

In de 30-voet bulk container (zie Figuur 8) kunnen bulkgoederen in 'linerbags' of voeringszakken vervoerd worden. Ook voedingswaren kunnen in deze zakken getransporteerd worden. De voeringszak wordt



Figuur 8: bulk container – 30 voet

in de container geplaatst en bulkgoederen kunnen via de vier mangaten in het dak in de container geladen worden. Het dak is ook voorzien van inklapbare veiligheidsrails. Om de goederen uit de container te verwijderen wordt aan de achterkant van de container een 'letterbox' of brievenbus geopend, waarna de zak wordt opengescheurd en de bulkgoederen uit de container kunnen vloeien. De container biedt genoeg ruimte voor 22 europallets of 18 blockpallets en heeft een capaciteit van 52 tot 56m³.

3.2.4 Pallet wide box container – 45 voet

De 45-voet container (zie Figuur 9) is uitgerust met veiligheidsrails en heeft een harde, houten vloer. Daarnaast heeft de container een capaciteit van 85 tot 90 m³, wat betekent dat 33 europallets of 26 blockpallets getransporteerd kunnen worden. Ewals Intermodal beschikt over standaard-containers (VTUI) en high-cube containers (VTIU-HC).



Figuur 9: container - 45 voet

3.2.5 Mega huckepack trailer – 45 voet

Deze 45-voet mega huckepack trailer (zie Figuur 10) heeft een capaciteit van 100m³, equivalent met 33 europallets of 26 blockpallets en is uitgerust met 20 laadringen. In de trailer bevindt zich een harde, houten vloer met een minimale hoogte van 0,95 meter en een maximale hoogte van 1,25 meter. Bovendien kan het dak opgetild worden.



Figuur 10: mega huckepack trailer - 45 voet

3.2.6 Trailer met coil well – 45 voet

De 45-voet trailer met een 'coil well' of spoelvorm in de harde, houten vloer is weergegeven in Figuur 11. De spoelvorm heeft een lengte van 8,10 meter en een breedte van 0,90 of 2,20 meter om eenheden met een ronde vorm (coils) in de lengterichting te transporteren. De trailer zelf heeft daarnaast een capaciteit van 87 m³, 33 europallets of 26 blockpallets en is uitgerust met een schuifdak en 12 laadringen.



Figuur 11: trailer met coil well - 45 voet

3.2.7 Coil flats – 20 en 25 voet

Ewals Intermodal heeft drie soorten coil flat containers in zijn bezit (zie Figuur 12), die elk 30 ton laadvermogen hebben. Deze uitrusting wordt enkel gebruikt voor het transport van stalen spoelen. Een eerste type betreft een 20-voet coil flat en kan twee spoelen in de dwarsrichting transporteren. Een ander type van 20 voet kan twee spoelen in de lengterichting vervoeren. De 25-voet coil flat heeft de capaciteit om drie spoelen in de dwarsrichting te transporteren.



Figuur 12: coil flats

3.3 Uitrusting: treinwagons

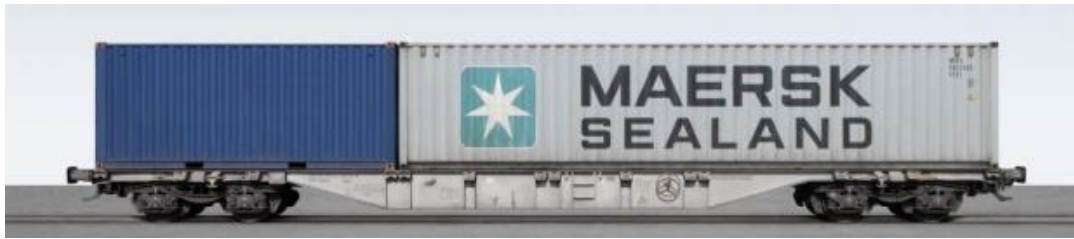
Ewals Intermodal maakt voor de trein tussen Genk en Novara (HGE-NOV) gebruik van drie verschillende wagontypes, namelijk de 60-voet wagon met 4 assen, de 90-voet wagon met 6 assen en de 104-voet wagon met 6 assen. Meer uitleg over deze drie types volgt in sectie 3.3.1. tot en met sectie 3.3.3. Een samenvatting van de technische details voor elke wagon op basis van technische gegevensbladen van Ahaus Alstätter Eisenbahn AG [AAE] (z.d.) is weergegeven in Tabel 2. Buffers zijn verende stootplaten tussen spoorwegrijtijen die zich aan het begin en einde van een wagon bevinden, de lengte hiertussen geeft de totale lengte van de wagon aan. De asbelasting betreft het maximale gewicht dat een as kan dragen. Bovendien zijn niet alle laadpatronen toegestaan. De posities van de pins die de containers vasthouden zorgen er immers voor dat niet alle ladingstypes op eender welke positie van het platform geplaatst kunnen worden. In bijlage 1, bijlage 2 en bijlage 3 zijn de laadschema's voor de drie wagontypes weergegeven met de mogelijke laadpatronen.

Tabel 2: technische details van de wagons, aangepast uit AAE(z.d.)

	60 voet wagon	90 voet wagon	104 voet wagon
Lengte over de buffers (m)	19,640	29,590	33,480
Ladingslengte (m)	18,400	2 x 13,820	2 x 15,765
Ladingshoogte boven spoorweg, ongeladen (m)	1,155	1,155	1,155
Laadvermogen (kg)	70.000	106.000	105.000
Tarragewicht (kg)	20.000	29.000	30.000
Totaal maximale gewicht (kg)	90.000	135.000	135.000
Maximale asbelasting (kg)	22.500	22.500	22.500
Maximale snelheid (km/u)	120	120	120

3.3.1 Containerwagon met 4 assen – 60 voet

De 60-voet wagon is het meest flexibel voor intermodaal transport omdat deze geschikt is voor maritieme containers, tankcontainers en wissellaadbakken. De assen bevinden zich paarsgewijs vooraan en achteraan de wagon. Het stel bestaat uit één platform en heeft een ideaal ladingsgewicht van 70 000 kilogram. Dankzij de lay-out van dit platform zijn meerdere ladingspatronen mogelijk. De toegestane laadpatronen zijn samengevat in het laadschema in bijlage 1. Zo kunnen bijvoorbeeld maximaal drie 20-voet laadeenheden op dit onderstel geplaatst worden. De maximale volumegebaseerde bezettingsgraad wordt bereikt bij de combinatie van een 20- met een 40-voet laadeenheid, twee 30-voet laadeenheden of drie 20 voet laadeenheden.



Figuur 13: optimaal geladen wagon (60 voet): 20ft en 40ft laadeenheid (AAE, z.d.)

3.3.2 Containerwagon met 6 assen – 90 voet

Het 90-voet treinstel bestaat uit twee platforms en is geschikt voor nagenoeg alle containertypes alsook voor de 45-voet wissellaadbak. Deze wagon heeft een extreem hoog ladingsgewicht van 106 000 kilogram. De optimale volumegebaseerde bezettingsgraad wordt bereikt door een laadpatroon dat bestaat uit twee 45-voet laadeenheden of uit de combinatie van twee keer een 20- met een 25-voet laadeenheid. De assen zijn in paren uniform verdeeld over de wagon.



Figuur 14: optimaal geladen wagon (90 voet) met twee 45 voet laadeenheden (AAE, z.d.)

3.3.3 Containerwagon met 6 assen – 104 voet

De 104-voet wagon is afgebeeld in Figuur 15 en bestaat uit twee platforms van dezelfde lengte en wordt vooral gebruikt voor het transport van wissellaadbakken van 25 en 30 voet. Elke wagon kan vier wissellaadbakken laden met een maximaal totaal laadgewicht van 105 000 kilogram. De zes assen zijn uniform verdeeld over de wagon en zijn onderverdeeld in drie paren: vooraan op platform 1, tussen beide platforms en achteraan platform 2. Het optimale volumegebaseerde patroon bestaat uit de combinatie van een 20- en een 30-voet laadeenheid op elke wagon.



Figuur 15: geladen wagon van 104 voet (AAE, z.d.)

3.4 Laadplanning binnen Ewals Intermodal

3.4.1 Planningsprogramma 'Ixolution' en Excel

De treinplanning bij Ewals Intermodal wordt gedeeltelijk uitgevoerd met behulp van het transportmanagementsysteem (TMS) Ixolution. In dit programma kan de treinplanner bepalen op welke trein elke laadeenheid gepland wordt. Voor de treinplanning wordt naast het transportmanagementsysteem ook gebruik gemaakt van Excel. Vanuit Ixolution worden gegevens geëxporteerd naar een Excelbestand, waarin de verschillende ladingen alsook de laadvolgorde opgenomen zijn. Het laadvermogen, het maximaal toegestane gewicht van de lading, wordt via dit Excelbestand geanalyseerd. De gewichten van de ladingen worden manueel ingegeven, waarna een cel rood kleurt als het toegestane gewicht of de maximale treinlengte overschreden wordt.

3.4.2 Treinplanning Genk – Novara (HGE-NOV)

Ewals Intermodal plant voor de treinen vertrekkende vanuit Genk en Novara de complete wagonplanning, inclusief de laadplanning. De planning van treinen vertrekkende uit Novara ('northbound') wordt in Novara uitgevoerd, terwijl de planning voor treinen vanuit Haven Genk ('southbound') in Genk wordt uitgevoerd. In deze toepassing zal om praktische redenen de laadplanning van de trein van Genk (HGE) naar Novara (NOV) besproken worden. Deze trein legt 1020 kilometer af en maakt een tussenstop in Domodossola. Het treinschema is weergegeven in Tabel 3. Daarnaast is in deze tabel ook het schema voor de trein van Novara naar Genk opgenomen. Wijzigingen in het vertrek uur in Novara hebben wegens de rotatie van de wagonsets – alle wagons op eenzelfde trein – immers invloed op het vertrek uur van diezelfde trein in Genk. Dergelijke wijzigingen kunnen belangrijke gevolgen hebben voor een volgende trein. De sluitingstijd is het moment waarop de laadeenheden ingeleverd dienen te zijn, zodat de terminal het laden van de trein kan vervolledigen en de schouwing en controle van documenten afgewerkt kunnen worden. De 'pick-up tijd' is het tijdstip waarop laadeenheden ter beschikking gesteld worden op de terminal van bestemming. Vanaf dan kunnen laadeenheden afgehaald worden.

Tabel 3: schema Genk-Novara, aangepast (Ewals Intermodal company presentation, 2013)

Genk-Novara			
Vertrekdatum	Sluitingstijd	Aankomstdag	Pick-up tijd
Maandag	17:45	Woensdag	5:00
Dinsdag	17:45	Donderdag	5:00
Woensdag	17:45	Vrijdag	5:00
Donderdag	17:45	Zaterdag	5:00
Vrijdag	17:45	Maandag	5:00
Zaterdag	10:00	Dinsdag	5:00
Novara-Genk			
Maandag	17:00	Woensdag	7:00
Dinsdag	17:00	Donderdag	7:00
Woensdag	17:00	Vrijdag	7:00
Donderdag	17:00	Zaterdag	7:00
Vrijdag	17:00	Maandag	6:00
Zaterdag	10:30	Maandag	7:30

In het treinplanningsproces worden twee beslissingen onderscheiden. Een eerste beslissing betreft de keuze van de treinconnectie, het vertrek- en eindstation voor de laadeenheden. Er wordt steeds initieel het scenario met het minst aantal kilometers wegvervoer gekozen. Logischerwijze wordt vervolgens prioriteit gegeven aan de invulling van eigen treinen. Als een eigen trein vol is, wordt – indien de losdatum dit toelaat – een plaats op een latere trein geboekt. Daarnaast wordt rekening gehouden met de geografische locatie van de laadeenheden. Er wordt bij plaatsgebrek op de trein HGE-NOV bij voorkeur geopteerd voor de terminal die zich het dichtst bij de locatie van de laadeenheid bevindt, indien er nog plaats vrij is voor deze lading op een vertrekkende trein met dezelfde bestemming. Als bijvoorbeeld een laadeenheid gepland op een volle trein Genk-Novara zich bevindt in Geel, kan beslist worden om die laadeenheid met een trein vanuit Antwerpen naar Novara te transporteren. Enkel als ook deze treinen volzet zijn of als niet aan de vraag van de klant voldaan kan worden, zullen de ladingen in 'overflow' worden geboekt. In deze praktijkstudie wordt de gekozen connectie als gegeven beschouwd, namelijk de connectie Genk-Novara.

Een tweede beslissing betreft de plaats van de laadeenheid op de gekozen trein. De intermodale treinplanning wordt voor de trein HGE-NOV geconfronteerd met onderstaande beperkingen, samengesteld aan de hand van informatie verkregen door de observatie en informatie van treinplanners in Genk.

- Het totale treingewicht inclusief wagons, laadeenheden en laadinhoud mag maximaal 1800 ton bedragen tussen Genk en Domodossola. Na de tussenstop in Domodossola mag het totale gewicht nog maximaal 1600 ton bedragen tot Novara.
- De treinlengte is van Genk tot Domodossola beperkt tot 600 meter en tot 520 meter tussen Domodossola en Novara.
- De volgorde van de wagons ligt vast. Deze wordt bepaald door de wagonvolgorde van de trein zoals deze vertrekt uit Italië.
- Er zijn drie wagontypes – 60 voet, 90 voet en 104 voet – met elk een eigen gewicht, grootte, en toegestane laadpatronen.

Voor de trein HGE-NOV wordt als doel gesteld 22 wagons te transporteren. Voor de treinplanning in Genk is men afhankelijk van de wagonset die uit Novara terugkomt voor zowel het aantal wagons van elk type als de staat waarin de wagons zich bevinden. Beschadigde wagons dienen hersteld te worden en zijn bijgevolg tijdelijk niet operationeel. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat wagons of laadeenheden uitgerangeerd worden. Deze zijn dan tijdelijk niet operationeel en dienen hersteld te worden. In dergelijke gevallen worden indien mogelijk wagons in Genk toegevoegd. Het kan bijgevolg voorkomen dat er slechts 20 of 21 wagons beschikbaar zijn. Hiervan worden 19 wagons met zekerheid aan de bestemming Novara toegekend. Op basis van het aantal beschikbare wagons worden vervolgens geplande laadeenheden toegewezen aan specifieke locaties op de trein. De laadeenheden voor Domodossola worden aan de wagons vooraan op de trein toegewezen. Door in Genk de laadeenheden voor Domodossola vooraan te plaatsen, zullen deze – omdat de trein zich in Aken omkeert – zich in Domodossola achteraan bevinden. De laadeenheden kunnen dan gemakkelijk afgekoppeld worden. De rest van de trein achter de locomotief kan zo doorrijden naar

Novara zonder verder verlies van tijd of rijpad. Voor de verdere toewijzing van laadeenheden aan een locatie op de trein wordt binnen de treinplanning van Ewals Intermodal een prioriteitensysteem gehanteerd.

Dringende ladingen met de kortste losdatum worden als allereerste toegewezen aan een locatie op de trein. Als tweede worden grote ladingen van 45 voet toegewezen aan de 90-voet wagons. Vervolgens worden ladingen van een specifieke klant toegewezen, waarvan op elke vertrekkende trein enkele containers geladen worden. Het betreft identieke ladingen die geen vaste losdatum hebben en waarvan een groot aantal op de terminal opgeslagen is. De terminal operator bepaalt zelf welke bakken precies meegaan op de trein en moet er rekening mee houden dat de oudste bakken niet te lang blijven staan. Later wordt door de terminal operator meegedeeld aan de treinplanning om welke bakken het precies gaat. Vervolgens worden specifieke laadeenheden ingepland die iets groter zijn dan 30 voet. Het betreft wissellaadbakken van 31 voet met een 30-voet aansluiting. Deze worden bij voorkeur op een wagon van 60 voet geplaatst, omdat ze op een 90- of 104 voet wagon voor een niet-optimale belading zorgen. Als dit niet mogelijk is omdat er bijvoorbeeld niet genoeg 60-voet wagons zijn, worden deze op een 90-voet wagon geplaatst.

Ewals Intermodal mag slechts ladingen met bepaalde types gevaarlijke goederen transporteren. Het RID-nummer – waarbij RID staat voor 'Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail' – wordt aangegeven op de vrachtbrief en in het planningsprogramma. Dit nummer deelt de verschillende types gevaarlijke goederen in negen klassen in. In principe hoeft geen rekening gehouden te worden met eisen in verband met het plaatsen van gevaarlijke goederen op de trein, omdat de categorieën met de gevaarlijkste goederen niet getransporteerd worden door Ewals Intermodal.

Laadeenheden waarvan het laadtype en dus de lengte nog niet is vastgelegd, worden bij voorkeur als een 45-voet laadeenheid gepland en toegewezen aan een wagon van 90 voet. Als de wagons van 90 voet volzet zijn, wordt toch gekozen voor een 60-voet wagon. Dit is een oorzaak van slechte belading. Uit ervaring blijkt immers dat vooraf nog onbekende ladingen vaak in 30-voet eenheid passen, maar dat de trucking-afdeling deze toch als een 45-voet laadeenheid inplant. Een gevolg hiervan kan zijn dat later opnieuw gepland dient te worden door de treinplanners in het geval waarin zij een 30-voet lading ingepland hadden. Het algoritme dat in deze praktijkstudie wordt voorgesteld zal het herinplannen vergemakkelijken.

Bulk containers van 30 voet en de 30-voet wissellaadbakken worden indien mogelijk aan een 60-voet wagon toegewezen om een optimale belading te verkrijgen. Als echter onvoldoende wagons van dit type beschikbaar zijn, worden deze laadeenheden toch op een 90-voet wagon geplaatst.

Tijdens het planningsproces dient bovendien continu gecontroleerd te worden of de meest dringende ladingen – diegene met de vroegste losdata, met de verste bestemmingen – zoals Ferentino, of ladingen die via een crossdock gelost worden om meteen opnieuw geladen en vervoerd te worden – zeker aan de trein toegewezen worden. Als er bijvoorbeeld nog laadeenheden niet toegewezen zijn aan een locatie op de trein, wordt gekeken of de losdatum in de

zeer nabije toekomst is. Dit wordt de *capaciteitsplanning* genoemd. Een concrete invulling voor de nabije toekomst wordt door de treinplanners gemaakt en betreft meestal een tijdspanne van maximaal drie dagen. In dat geval worden minder dringende laadeenheden uit de planning verwijderd, zodat de dringendere ladingen toch ingepland kunnen worden. Dit in tegenstelling tot de *dagplanning*, waarbij wordt nagegaan welke eenheden wel en niet op tijd binnenkomen en welke laadeenheden een ander type hebben gekregen dan van tevoren gedacht (cfr. 30 voet versus 45 voet eenheid).

Laadeenheden van 20 en 25 voet worden bij voorkeur niet op een 90-voet wagon geplaatst, omdat dit een verre van optimale wagonlading met zich meebrengt. Eventueel worden reeds ingeplande ladingen verplaatst, zodat de 20- en 25-voet laadeenheden op een 60-voet wagon geplaatst kunnen worden, wat een hogere volumegebaseerde optimalisatiegraad met zich meebrengt.

Als alle laadeenheden toegewezen zijn, is de treinplanning tijdelijk in orde. Het volledige proces is echter dynamisch, wat betekent dat op latere tijdstippen nieuwe laadeenheden aan de trein toegewezen kunnen worden. Dit zorgt voor extra complicaties tijdens het planningsproces. Reeds toegewezen ladingen dienen soms opnieuw toegewezen te worden om plaats te maken voor de nieuwe laadeenheden. Het komt ook voor dat ladingen verwijderd worden uit de treinplanning, bijvoorbeeld omdat deze verplaatst zijn naar een andere trein of omdat de lading niet op tijd in de terminal zal geraken. Dan komt een plaats vrij op de trein. Deze plaats kan opgevuld worden met een lading die bijvoorbeeld reeds op een latere trein gepland stond. Veranderingen ten gevolge van de dynamiek in de treinplanning kunnen dankzij een geautomatiseerd treinplanningsalgoritme eenvoudiger worden doorgevoerd.

De treinplanning van Ewals Intermodal is minder gebaseerd op de plaats van de laadeenheden op de trein, maar focust vooral op de plaats op de wagon, waarbij de asbelasting niet te zwaar mag zijn. Deze asbelasting wordt nagegaan aan de hand van een laadpatroon dat vooraf per wagontype gedefinieerd is door de fabrikant zoals in bijlage 1, bijlage 2 en bijlage 3. In drie gevallen wordt wel gekeken naar de plaats op de volledige trein: indien de trein twee bestemmingen heeft en de wagonset daardoor in twee delen wordt gesplitst onderweg, zoals het geval is bij de trein Genk-Novara die stopt in Domodossola; indien een terminal de wagonset in delen splitst door gebrek aan spoorlengte; indien RID-goederen vervoerd worden, mogen deze niet op de eerste en laatste wagon geladen worden in Duitse terminals. Aangezien de trein HGE-NOV besproken wordt, valt dit laatste geval weg.

3.5 Vergelijking: praktijkstudie en theoretische modellen

Over het algemeen kan gezegd worden dat de treinplanning binnen Ewals Intermodal gebaseerd is op ervaring en inzicht. Toewijzingen van laadeenheden aan een locatie op de trein gebeuren voor een groot deel op basis van de ervaringen en opgedane kennis van treinplanners binnen hun functie. Concrete modellen voor de uitwerking van een efficiënt laadplan worden niet gebruikt, maar enkele relevante factoren worden door dit inzicht wel in rekening gebracht tijdens de planning die momenteel manueel via Excel gebeurt. Het laadplan wordt bovendien op regelmatige tijdstippen herzien en aangepast op basis van nieuwe informatie over laadeenheden, wat met zich mee kan brengen dat de uiteindelijke planning niet meer optimaal is. In de literatuur worden modellen met een rollende tijdshorizon voorgesteld om dit probleem op te lossen.

Wat betreft de doelfunctie kan gesteld worden dat Ewals Intermodal streeft naar een maximalisatie van de bezettingsgraad van de trein. Een minimalisatie van de treinelengte wordt niet vooropgesteld omwille van verschillende redenen. In de eerste plaats wordt ervoor gekozen om extra laadeenheden op de trein te plaatsen bij vrije ruimte in plaats van wagons af te koppelen. Een eenheid kan immers beter op de aankomstterminal wachten om gelost te worden dan op de vertrekterminal om nog te vervoeren naar de bestemming. Dit laatste brengt het risico met zich mee dat er uiteindelijk geen plaats meer is op de laatst mogelijke trein. Door eerder dan nodig een extra laadeenheid mee te sturen, komt bovendien plaats vrij op een latere trein. Een tweede verklaring heeft te maken met het feit dat de wagonsets roteren. Als bijvoorbeeld in Genk een wagon uit de set gehaald wordt in plaats van deze leeg mee te sturen, is er in Novara ook een wagon minder. Er staan immers niet overal wagons op overschot die indien gewenst aangekoppeld kunnen worden. Tenslotte is het uitrangeren van wagons niet vanzelfsprekend. Enerzijds is dat niet op elke terminal mogelijk omdat niet elke terminal over een locomotief beschikt voor het uitrangeren. Anderzijds brengt het heel wat kosten met zich mee, die afgewogen dienen te worden met de kost van het leeg versturen van een wagon.

De kostenminimalisatie voor goederenbehandeling, beweging van transportmateriaal en veranderingen van pinposities zijn minder belangrijk omdat dit door de terminal van Haven Genk gebeurt. Hiermee wordt weinig rekening gehouden door de treinplanners. In de literatuur wordt aangegeven dat dubbele goederenbehandeling geminimaliseerd dient te worden. Daarbij dient een belangrijke kanttekening gemaakt te worden voor Ewals Intermodal. De kost voor een handling ligt aanzienlijk lager dan de kost van de wagonset, waarbij een trein 19 tot 22 wagons telt. Daarom wordt eerder een minimalisatie van het aantal wagonsets beoogd, wat bereikt kan worden door de bezetting van elke trein te maximaliseren.

Ook kunnen enkele beperkingen voor de praktijkstudie opgesteld worden. Voor de volledige trein is er een beperking wat betreft het maximale gewicht en de lengte van de trein. De trein tot Domodossola telt bij voorkeur 22 wagons en mag 1800 ton wegen en 600m lang zijn. Hiervan rijden 19 wagons door tot Novara. Deze mogen gezamenlijk 1600 ton wegen en 520m lang zijn. Bovendien beschikt Ewals Intermodal over zeven types laadeenheden en drie types wagons, waarvan het aantal bekend is wanneer een trein uit Novara aankomt. Elke laadeenheid heeft een

gewichtsbeperking, maar ook elke wagon heeft een gewichtsbeperking vastgelegd in het laadpatroon. Met gevaarlijke ladingen wordt in beperkte mate rekening gehouden. Goederen van bepaalde RID-klassen mogen niet vervoerd worden. Gevaarlijke goederen die wel vervoerd mogen worden door Ewals Intermodal, worden achteraan de trein geplaatst indien ze geen tussenstop maken in een Duitse terminal. Verder bestaan er geen specifieke regels over de plaats van bepaalde types gevaarlijke goederen op de trein, aangezien Ewals Intermodal gewoonlijk geen goederen vervoert die uiterst gevaarlijk zijn. Er dienen bovendien beperkingen opgesteld te worden zodat een laadeenheid enkel toegewezen wordt aan een slot van dezelfde dimensie, een laadeenheid slechts aan één slot toegewezen kan worden en een slot slechts aan één laadeenheid toegewezen wordt. Ook wordt rekening gehouden met de asbelasting via de toegestane laadpatronen. Elk type wagon kan slechts een vooraf bepaald aantal combinaties van laadeenheden transporteren. Tenslotte dient opgenomen te worden in het model dat de beslissingsvariabele integer is.

Een betere samenwerking en/of integratie tussen de verschillende besluitvormers in het treinplanningsproces zou mogelijk een verbetering van de wagonplanning met zich mee kunnen brengen. Binnen Ewals Intermodal wordt bijvoorbeeld weinig rekening gehouden met de plaats van de laadeenheid op de volledige trein omdat dit een verantwoordelijkheid is van de terminal, terwijl het laadplan invloed heeft op de beweging van het transportmaterieel. Bovendien wordt in de literatuur wel gesproken over de volledige treinbelasting, waarbij bijvoorbeeld de remmen sneller slijten als de gewichtsverdeling op de trein niet optimaal is. Dit is evenwel geen beslissing die enkel Ewals Intermodal aangaat. Bovendien wordt weinig rekening gehouden met de treinbelading in de praktijk, ook niet door de terminal. In de literatuur wordt door Corry en Kozan (2006) aangehaald dat de treinbelading van belang is voor de slijtage van de remmen. In de praktijk wordt de focus echter gelegd op de wagonbelading door middel van de toegestane en optimale laadpatronen. De terminal bekijkt ook de wagonbelading, maar beoogt in de eerste plaats een minimalisatie van de beweging van het transportmaterieel. Daarnaast zou de integratie met de terminal enkele informatievoordelen kunnen opleveren. Voor de uitwerking van een treinplanningsmodel zijn immers de meest recente gegevens nodig als inputs in het model. Daarom zou een real-time (online) statusupdate van verschillende ladingen in de terminal zoals deze in Antwerpen al bestaat, kunnen zorgen voor een verbetering in het planningsproces. Op dit moment dienen de treinplanners elke twee uur de update die via mail verzonden wordt, te controleren. Het real-time systeem – waarin de treinplanners gegevens kunnen opvragen over de actuele gegevens die de terminal in Haven Genk ter beschikking heeft – zou hier verbetering in kunnen brengen. Op deze manier wordt voor de uitvoering van de treinplanning gebruik gemaakt van de meest recente informatie om het laadplan te herzien.

Ten slotte dient opgemerkt te worden dat de modellering gebaseerd is op uniforme wagons. Er wordt dus verondersteld dat elke 60-voet wagon identiek is. In realiteit zijn er echter uitzonderingen, waarbij bijvoorbeeld een wagon van 60 voet enkel twee 30-voet laadeenheden kan plaatsen. Deze uitzonderlijke wagons probeert het bedrijf af te stoten om zoveel mogelijk flexibiliteit te bieden tijdens de treinplanning. Hiermee wordt dus geen rekening gehouden in de modellering van de treinplanning voor Ewals Intermodal.

3.6 Modelleren van de treinplanning

3.6.1 Ontwikkeling van het basismodel

De modellen uit de literatuurstudie kunnen gebruikt worden voor een analyse van de treinplanning van Ewals Intermodal. Op basis van de beschikbare gegevens voor de treinplanning uit de praktijk zal gezocht worden naar een model dat streeft naar een goede combinatie van de verschillende factoren die van belang zijn voor de toepassing door Ewals Intermodal zoals samengevat in sectie 3.5. Het model wordt opgesteld voor de treinverbinding Genk-Novara met behulp van het modelleringsprogramma Aimms (www.aimms.com). De wagons met bestemming Novara zijn in totale lengte beperkt tot 520 meter. Deze beperking wordt niet opgenomen in het model. Er wordt immers verondersteld dat het aantal wagons vastligt op basis van de inkomende wagonset, die aan dezelfde lengtebeperking dient te voldoen.

De gebruikte indices zijn als volgt gedefinieerd:

i	laadeenheid i ($i=1,\dots,n$)
j	wagon j ($j=1,\dots,m$)
a	laadpatroon a ($a=1,\dots,41$)
k	aantal slots k per laadpatroon ($k=1,\dots,s_{ja}$)

De parameters in het model zijn de volgende:

s_{ja}	aantal slots in patroon a van wagon j
c_j	aantal mogelijke laadpatronen voor wagon j
l_{ijk}	$\begin{cases} =1 & \text{als laadeenheid } i \text{ dezelfde dimensie heeft als slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \\ =0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$
g_i	gewicht van laadeenheid i (leeggewicht en lading)
h_j	leeggewicht van wagon j
mwg_j	maximaal toegelaten gewicht dat de wagon kan dragen, exclusief h_j
P_{ja}	prioriteit voor laadpatroon a op wagon j

Ook worden drie variabelen vastgelegd:

U_{ijk}	$\begin{cases} =1 & \text{als laadeenheid } i \text{ toegewezen is aan slot } k \text{ in patroon } a \text{ van wagon } j \\ =0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$
y_{ja}	$\begin{cases} =1 & \text{als patroon } a \text{ gekozen wordt voor wagon } j \\ =0 & \text{in alle andere gevallen} \end{cases}$
Z	totaal aantal laadeenheden dat toegewezen is aan een plaats op de trein

Met bovenstaande gegevens kan een model opgesteld worden, waarvan beperking (5.2), (5.3), (5.4) en (5.9) gebaseerd zijn op het model van Corry en Kozan (2008) zoals in sectie 2.2.3.5. De overige beperkingen zijn toegevoegd om de praktijksituatie van Ewals Intermodal realistisch weer te geven. Ook is de doelfunctie gebaseerd op de praktijksituatie, met de maximalisatie van de bezettingsgraad en een tweede lid, waarbij via prioriteiten per type wagon de voorkeur wordt gegeven voor laadpatronen met optimale belading. De optimale laadpatronen per wagon krijgen een prioriteit van 10. Een wagon van type 1 is op basis van het volume optimaal beladen onder laadpatronen 7, 9 en 12. Wagontype 2 is optimaal beladen onder laadpatroon 11 en 28. Tenslotte is wagontype 3 optimaal beladen onder laadpatroon 41. De vermenigvuldiging met factor 1000 maakt de maximalisatie van de bezettingsgraad echter tot hoofddoel. Het model wordt als volgt geformuleerd.

$$\text{Maximaliseer } Z = 1000 * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} + \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{c_j} (P_{ja} * U_{ijk}) \quad (5.1)$$

Subject to

$$U_{ijk} \leq l_{ijk} \quad \forall i, \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (5.2)$$

$$\sum_i U_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (5.3)$$

$$\sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (5.4)$$

$$\sum_{a=1}^{c_j} y_{ja} \leq 1 \quad \forall j \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijk} \leq s_{ja} * y_{ja} \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} g_i * U_{ijk} + \sum_{j=1}^m h_j \leq 1\,600\,000 \quad (5.7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} g_i * U_{ijk} \leq mwg_j \quad \forall j \quad (5.8)$$

$$U_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, a = 1, \dots, c_j, k = 1, \dots, s_{ja} \quad (5.9)$$

$$y_{ja} \in \{0,1\} \quad \forall j, a = 1, \dots, c_j \quad (5.10)$$

Beperking (5.2) geeft aan dat een container alleen toegewezen mag worden aan een slot van dezelfde dimensie. Beperking (5.3) wijst elk slot aan maximaal één laadeenheid toe en beperking (5.4) wijst elke laadeenheid toe aan één slot. Daarnaast kan slechts één laadpatroon gekozen worden voor elke wagon, zoals aangeduid in beperking (5.5). Beperking (5.6) zorgt ervoor dat laadeenheden enkel toegewezen kunnen worden aan een gekozen laadpatroon, waarbij het aantal slots in een gekozen patroon minstens gelijk dient te zijn aan het aantal laadeenheden dat toegewezen is aan een plaats op de trein. Daarnaast wordt in beperking (5.7) aangegeven dat het totale gewicht van de trein – dat overeenkomt met het linkerlid – niet meer dan 1 600 000 kg mag bedragen. Het totale gewicht van elke wagon, inclusief de laadeenheden toegewezen aan die wagon en de inhoud ervan, dient kleiner te zijn dan het maximaal toegelaten gewicht dat elke individuele wagon kan dragen (mwg_j), zoals bepaald in beperking (5.8). Tenslotte geeft beperking (5.9) en (5.10) aan dat de beslissingsvariabelen binair zijn.

3.6.2 Toepassing basismodel op concrete trein HGE-NOV – Ewals Intermodal

Voor de toepassing van het verkregen model uit sectie 3.6.1 wordt gesteund op gegevens voor een specifieke trein die Ewals Intermodal in het verleden heeft ingepland. De werkelijke laadplanning van Ewals Intermodal zal worden vergeleken met de resultaten van het model voor deze specifieke trein om de efficiëntie van het huidige laadplan na te gaan.

Voor deze uitwerking worden initieel gegevens gebruikt van een willekeurige trein, die op 6 november 2013 vertrokken is, naar Novara. Het betreft een trein met twee wagons voor Domodossola en 20 wagons voor Novara. In deze praktijkstudie zal enkel de trein naar Novara worden uitgewerkt. Op de wagons voor Domodossola kunnen naar eigen invulling laadeenheden worden toegevoegd. Voor de 20 wagons met bestemming Novara werden 40 laadeenheden ingepland, die samen in lengte beperkt zijn tot 520 meter. De basis voor de gegevensverwerking is de effectieve planning zoals deze in Excel werd uitgevoerd door Ewals Intermodal. Uit deze planning werden de relevante gegevens voor het toewijzen van laadeenheden aan een specifieke locatie op de trein geselecteerd en in nieuwe bestanden verwerkt. Elke wagon – aangeduid met een uniek nummer – heeft specifieke eigenschappen. Het eigengewicht, de lengte, het laadvermogen, het maximale gewicht dat de wagon kan transporteren en het wagontype zijn van belang voor de laadplanning. De lengte van elke wagon is ter volledigheid ook toegevoegd. Deze inputgegevens liggen vast en worden bepaald door de wagonset van de inkomende trein. Voor de trein van 6 november 2013 zijn de wagongegevens samengevat in Tabel A.8 in bijlage 5.

Elke laadeenheid heeft een uniek nummer en bevat een lading met een bepaald gewicht, die uit het transportmanagementsysteem Ixolution geëxporteerd worden. Aan elk ladingsnummer zijn specifieke eigenschappen gekoppeld. De relevante eigenschappen in deze praktijkstudie betreffen het tarragewicht en het type laadeenheid. Ook het gewicht van de inhoud is gekend. In Tabel A.9 in bijlage 5 zijn de gegevens voor de laadeenheden op de trein van 6 november 2013 opgelijst. De gegevens voor de wagons en laadeenheden naar Domodossola worden ter volledigheid weergegeven in de lijst met laadeenheden en wagons, maar worden in dit model buiten beschouwing gelaten. Een overzicht van het aantal wagons en laadeenheden van elk type dat naar Novara getransporteerd dient te worden is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Aantal wagons en laadeenheden per type, trein 6 november 2013

		Type	Aantal Novara
Wagontype	1	60ft	13
	2	90ft	3
	3	104ft	4
	Totaal		20
Laadtype	1	20ft	7
	2	25ft	5
	3	30ft	2
	3	30ftB	14
	4	40ft	1
	5	45ft	11
	Totaal		40

Daarnaast zijn voor elk wagontype verschillende laadpatronen mogelijk. De toegestane laadpatronen en bijbehorend aantal slots werden bepaald aan de hand van de laadschema's (zie bijlage 1, bijlage 2 en bijlage 3) en zijn samengevat in Tabel A.12 tot en met Tabel A.14 in bijlage 6. Vervolgens wordt met behulp van deze tabellen voor de 20 wagons uit de wagonset het aantal slots in elk van de mogelijke laadpatronen bepaald. Elke combinatie van een wagon met een laadpatroon geeft de variabele $AantalSlots(j,a)$. De invulling van deze tabel is afhankelijk van de specifieke trein en ziet er voor de trein van 6 november 2013 uit zoals in Tabel A.10 in bijlage 5. Ook gaat voor elke wagon op de trein de voorkeur naar het laadpatroon met maximale belading, zoals weergegeven in Tabel A.11. Tabel A.8 tot en met Tabel A.11 in bijlage 5 worden ingelezen in Aimms en dienen als input voor de toewijzing van laadeenheden aan locaties op de trein.

In Tabel 5 wordt de manuele planning door Ewals Intermodal vergeleken met de geautomatiseerde planning in Aimms voor de trein van 6 november 2013 van Genk naar Novara. Via de manuele planning bleef 12,69% van de plaats op de trein ongebruikt, acht wagons werden geladen volgens het voorkeurspatroon. Via het Aimms-model neemt de bezettingsgraad niet toe: het aantal laadeenheden dat op de trein geplaatst dient te worden is identiek omdat beide methoden gebaseerd zijn op een gegeven treinplanning. Wel worden twee extra wagons geladen volgens het voorkeurspatroon. Er kan dus geconcludeerd worden dat de effectiviteit van de manuele treinplanning hoog ligt. Het Aimms-model bereikt echter een hogere efficiëntie. Dankzij het algoritme wordt de toewijzing versneld en geautomatiseerd uitgevoerd. De manuele planning wordt in circa 30 minuten opgesteld met herplanningen als bijvoorbeeld wagons worden afgekeurd of als laadeenheden dringend getransporteerd dienen te worden. De geautomatiseerde planning gebeurt in zes tot zeven seconden. Ook wordt een hoger aantal wagons met voorkeurspatroon bereikt. In een dynamische omgeving waar regelmatig herpland dient te worden is dit een voordeel.

Tabel 5: manuele en automatische laadplanning, trein 6 november 2013

Wagon	voet	EIM-manueel			Aimms-automatisch			
		Slot 1	Slot 2	Voorkeurs- patroon	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Voorkeurs- patroon
1	60	20	25	0	45			0
2	60	25	20	0	20	20		0
3	60	30	30	1	30	30		1
4	60	30	30	1	30	30		1
5	60	30	30	1	25	30		0
6	60	30	30	1	30	30		1
7	60	20	25	0	45			0
8	60	20	20	0	30	30		1
9	104	45	45	0	20	25	25	0
10	104	45	45	0	20	25	45	0
11	104	45	45	0	30	45		0
12	60	30	20	0	20	20		0
13	60	30	30	1	30	30		1
14	90	30	20	0	45	45		1
15	90	40	45	0	45	45		1
16	90	45	45	1	45	45		1
17	60	30	30	1	30	30		1
18	60	30	30	1	30	30		1
19	104	45	45	0	20	25	40	0
20	60	25	25	0	45			0
Aantal optimaal		8			10			

Idealiter bevat een trein 10 wagons van 60 voet en 9 wagons van 90 voet, waarop bij voorkeur 18 laadeenheden van 40 en 45 voet en 20 laadeenheden van 20, 25 en 30 voet worden geplaatst. Daarom wordt eveneens een treinplanning opgesteld voor een trein met een samenstelling die zeer dicht bij deze ideale combinatie ligt, namelijk de trein van 11 oktober 2013. Deze trein bestaat uit 11 wagons van 60 voet en 7 wagons van 90 voet, waarop 14 laadeenheden van 40 en 45 voet en 22 laadeenheden van 20, 25 en 30 voet geplaatst dienen te worden. Uit Tabel 6 blijkt dat de bezettingsgraad bij de manuele planning van een trein met de ideale samenstelling zeer hoog ligt. Slechts 2,33% van de plaats op de trein wordt niet benut. Bovendien wordt via de manuele planning eenzelfde aantal wagons optimaal beladen, terug te vinden in de tabel wanneer een wagon waarde één heeft bij het voorkeurspatroon. De efficiëntie van de geautomatiseerde planning ligt echter nog steeds hoger. Het model wordt in minder dan twee seconden opgelost.

Tabel 6: manuele en automatische laadplanning, trein 11 oktober 2013

Wagon	voet	EIM-manueel			Aimms-automatisch		
		Slot 1	Slot 2	Voorkeurs- patroon	Slot 1	Slot 2	Voorkeurs- patroon
1	90	45	45	1	45	45	1
2	90	45	45	1	45	45	1
3	60	30	30	1	20	20	0
4	60	30	30	1	30	30	1
5	60	30	30	1	25	30	0
6	60	20	30	0	30	30	1
7	60	30	30	1	30	30	1
8	60	30	30	1	30	30	1
9	60	25	20	0	30	30	1
10	90	45	45	1	45	45	1
11	60	30	30	1	30	30	1
12	90	45	45	1	45	45	1
13	90	45	45	1	45	45	1
14	90	45	45	1	45	45	1
15	90	45	45	1	45	45	1
16	60	25	30	0	30	30	1
17	60	30	30	1	25	30	0
18	60	30	30	1	30	30	1
Aantal optimaal		15			15		

3.6.3 Ontwikkeling van een uitgebreid model met prioriteiten

In het basismodel werd een gegeven treinplanning gebruikt als input voor het automatisch toewijzen van containers aan een locatie op de trein. Aan de hand van dit basismodel wordt een uitgebreid model voorgesteld. In plaats van een vast aantal eenheden dat zeker aan een plaats op de trein toegekend kan worden, wordt een lijst met laadeenheden die in een bepaalde week getransporteerd worden gebruikt als input in het model. Mits de beperkingen het toelaten kan met dit model een hogere treinbezetting bereikt worden. Aangezien de kost voor de gebruikte wagonset vast is, daalt de kost per laadeenheid met het aantal laadeenheden dat verscheept kan worden. Een hogere bezettingsgraad betekent dus een lagere kost per laadeenheid voor het bedrijf.

Om deze modeluitbreiding te realiseren worden in de eerste plaats prioriteiten toegevoegd volgens de urgentie van de laadeenheid. Elke laadeenheid op de lijst krijgt een prioriteit PD_i toegekend volgens zijn losdatum. Laadeenheden die reeds verscheept hadden moeten worden en ladingen die zeker op de dag van planning verscheept dienen te worden, krijgen de hoogste prioriteit, namelijk 100. Bovendien betreft het een dagplanning, waarbij over het algemeen een planningshorizon van één en maximaal twee dagen wordt gehanteerd. Omwille van deze reden wordt een prioriteit van 10 toegekend aan ladingen die pas één dag later verscheept dienen te worden. Door de verhouding 100/10 dienen 10 ladingen geplaatst te worden die een dag later getransporteerd dienen te worden om één lading die net op tijd of te laat is te vervangen. De kans dat dit gebeurt is nagenoeg onbestaande, waardoor te late ladingen en ladingen die net op tijd zijn, zeker getransporteerd worden. In de realiteit is het merendeel van de gegevens betreffende de laadeenheden pas op de planningsdag beschikbaar. Door het toekennen van een prioriteit van nul aan ladingen met een losdatum verder dan één dag in de toekomst wordt getracht om dit gegeven te incorporeren in het model.

De prioriteiten die aan de laadeenheden toegekend worden op basis van hun losdatum worden gemaximaliseerd door het toevoegen van een extra term aan de nieuwe doelfunctie (6.1). De term zorgt ervoor dat de meest dringende ladingen eerst aan een locatie op de trein toegewezen worden en krijgt een gewicht van 0,1. Op deze manier wordt enkel als de prioriteit voor dringende ladingen 100 is, een groter belang gehecht aan dringende ladingen dan aan een maximale bezetting. Zo worden dringende ladingen zeker toegewezen aan een locatie op de trein.

Daarnaast wordt een tweede wijziging doorgevoerd ten opzichte van de doelfunctie uit het basismodel, weliswaar zonder de hoofddoelstelling te wijzigen. In dit uitgebreide model wordt de bezetting eveneens gemaximaliseerd, maar dit gebeurt door middel van een gewijzigde formulering zoals in de eerste term van de nieuwe doelfunctie (6.1). De som van de lengtes van alle laadeenheden wordt gemaximaliseerd, waardoor optimale laadpatronen automatisch voorkeur krijgen en de trein zo vol mogelijk wordt ingepland. Dit maakt de tweede term uit de doelfunctie van het basismodel, waarin voorrang wordt gegeven aan optimale laadpatronen, overbodig.

Maximaliseer

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} (l_i * U_{ijak}) + 0,1 * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} PD_i * U_{ijak} \quad (6.1)$$

Daarnaast wordt beperking (5.4) uit het basismodel aangepast. In het basismodel werd uitgegaan van een gegeven planning, waarbij elke container aan één slot werd toegewezen. Omdat er in het uitgebreid model meer laadeenheden in overweging worden genomen dan er op de trein geplaatst kunnen worden, wordt elke container aan maximaal één slot toegewezen en wordt beperking (5.4) uit het basismodel een kleiner-dan-of-gelijk-aan-beperking in het uitgebreid model zoals in beperking (6.4). De overige beperkingen blijven ongewijzigd.

$$\sum_j \sum_{a=1}^{c_j} \sum_{k=1}^{s_{ja}} U_{ijak} \leq 1 \quad \forall i \quad (6.4)$$

Door het toepassen van deze modeluitbreiding op een treinplanning kan worden onderzocht hoe de planning van een volledige week eruit ziet wanneer deze gebaseerd is op het geautomatiseerde model en kan concreet het voordeel van deze manier van plannen bekeken worden.

3.6.4 Toepassing uitgebreid model op trein HGE-NOV – Ewals Intermodal

Voor de praktische toepassing van dit uitgebreid model worden de gegevens gebruikt van de treinen van Ewals Intermodal die in week 15 zijn vertrokken vanuit Genk naar Novara, van maandag 7 april 2014 tot en met zaterdag 12 april 2014. In totaal werden in deze periode 219 laadeenheden getransporteerd. Tabel 7 geeft een overzicht van de beschikbare wagons in die week met bestemming Novara per planningsdag.

Tabel 7: Gegevens treinen HGE-NOV, week 15

Wagontype	Ma 7/4	Di 8/4	Wo 9/4	Do 10/4	Vr 11/4	Za 12/4
60ft	8	10	14	8	13	11
90ft	5	7	4	5	5	5
104ft	5	2	2	5	1	2
Totaal	18	19	20	18	19	18

Per planningsdag wordt het model gerund, waarna de reeds ingeplande laadeenheden verwijderd worden. In Tabel 8 zijn de resultaten van de manuele en de geautomatiseerde treinplanningen samengebracht in een overzicht. In totaal blijft bij de manuele planning van maandag tot vrijdag 14,19% van de bruikbare lengte en 8,31% van het maximaal toegelaten treingewicht onbenut. Het lineair programmeringsmodel heeft maximaal 11 seconden nodig om een treinplanning voor één dag op te stellen en maakt gebruik van hoogstens 100,5 Mb geheugen. Voor deze geautomatiseerde planning betreft het onbenutte deel van de trein 2,40% van de bruikbare lengte en 0,42% van het toegestane gewicht. Deze percentages liggen aanzienlijk lager dan volgens de manuele planning.

Dankzij dit uitgebreid model is er op de trein die op zaterdag vertrekt nog 70,41% van de lengte en 40,29% van het maximaal toegestane gewicht beschikbaar. Na de laadplanning van de vrijdagtrein blijven er slechts 17 laadeenheden over, die op de zaterdagtrein geplaatst kunnen worden. Er is dus nog veel vrije ruimte voor extra laadeenheden. Bij deze resultaten dient wel een kanttekening gemaakt te worden. Een deel van de laadeenheden dat nu al eerder getransporteerd werd, is eventueel pas later gekend voor de treinplanners. Dit kan ook het grote verschil verklaren voor de trein van maandag tussen het aantal laadeenheden volgens de manuele en de geautomatiseerde planning. Omdat de resultaten wel aangeven dat er meer laadeenheden op de trein geplaatst kunnen worden dan nu mogelijk is met de manuele planning, zouden enkele van die plaatsen opgevuld kunnen worden met ladingen zonder vaste losdatum.

Tabel 8: Resultaten uitgebreid model, week 15

	Ma 7/04	Di 8/04	Wo 9/04	Do 10/04	Vr 11/04	Za 12/04
	Manueel					
Bezetting	31	38	40	36	38	36
Totaal treingewicht (kg)	1.246.771	1.588.161	1.571.096	1.428.890	1.499.959	1.473.340
Onbenut gewicht (kg)	353.229	11.839	28.904	171.110	100.041	126.660
som lengtes wagons (ft)	1.450	1.438	1.408	1.450	1.334	1.318
som lengtes ladingen(ft)	1.085	1.310	1.210	1.260	1.210	1.225
Onbenut (ft)	365	128	198	190	124	93
	Aimms					
Benodigde tijd (sec)	11,03	4,98	5,83	7,01	4,42	0,13
Gebruikt geheugen (Mb)	100,50	74,80	78,40	75,40	65,20	54,90
Bezetting	45	40	42	38	37	17
Totaal treingewicht (kg)	1.599.864	1.589.328	1.592.273	1.599.714	1.584.930	955.361
Onbenut gewicht (kg)	136	10.672	7.727	286	15.070	644.639
som lengtes wagons (ft)	1.450	1.438	1.408	1.450	1.334	1.318
som lengtes ladingen (ft)	1.425	1.420	1.390	1.390	1.285	390
Onbenut (ft)	25	18	18	60	49	928

Rekening houdend met het feit dat treinplanners met diverse dynamische omstandigheden te maken krijgen, kan gesteld worden dat resultaten van de manuele planning goed zijn. Het geautomatiseerd model kan een meerwaarde betekenen door dagelijks hulp te bieden bij het opstellen van een initiële planning aan het begin van elke planningsdag en dient als basis voor herplanningen bij veranderingen in de beschikbare laadeenheden of andere onverwachte wijzigingen tijdens de dag. Het model biedt de mogelijkheid om snel een toegelaten oplossing te vinden. Door deze snelle manier van plannen kan ook een tijdswinst gerealiseerd worden, waardoor treinplanners meer tijd hebben om onverwachte wijzigingen van de ladingsgegevens beter te anticiperen.

Er dient opgemerkt te worden dat het model in deze thesis gebaseerd is op historische gegevens van laadeenheden voor een hele week. In de realiteit wordt maximaal twee dagen vooruit gekeken, waardoor nog niet alle laadeenheden voor een hele week gekend zijn. Door het toekennen van een prioriteit van nul aan ladingen die verder dan twee dagen in de tijd liggen, wordt getracht dit probleem gedeeltelijk aan te pakken. In Tabel 9 is een overzicht van het aantal ingeplande laadeenheden per dag weergegeven voor zowel de Aimms- als de manuele planning. Over het algemeen kan gezegd worden dat een groot deel van de dringendste laadeenheden, deze met de hoogste prioriteit, ook diezelfde dag aan een locatie op de trein toegewezen kan worden – rekening houdend met de geldende beperkingen. Het feit dat er op woensdag relatief veel ladingen met een prioriteit van nul worden ingepland, heeft te maken met het feit dat ladingen die een marge hebben van één dag uiterlijk op zaterdag aan dienen te komen. Omdat deze dag in het weekend valt, zijn er geen ladingen met een prioriteit van tien. Deze vallen allen onder de prioriteit van nul.

De laadeenheden die pas over twee dagen of meer getransporteerd dienen te worden, degenen met een prioriteit van nul, worden in de Aimms-planning in bepaalde gevallen toch reeds toegewezen aan een plaats op de trein. In de realiteit is dit mogelijk voor ladingen zonder vaste losdatum, maar gebeurt dit zelden voor andere ladingen omdat van tevoren vaak niet genoeg informatie beschikbaar is. De resultaten van de Aimmsplanning geven wel aan dat extra laadeenheden op de trein geplaatst kunnen worden in plaats van de ladingen met een prioriteit van nul. Ook kan geconcludeerd worden dat de Aimms-planning relatief veel ladingen met een hoge prioriteit in het begin van de week toewijst aan een locatie op de trein.

Tabel 9: Aantal toegewezen laadeenheden per prioriteitsniveau, week 15

	prioriteit	Aimms - Aantal toewijzingen	Manueel – Aantal toewijzingen
Ma 7/4	100	24	18
	10	10	10
	0	11	3
Di 8/4	100	23	11
	10	12	24
	0	5	3
Wo 9/4	100	14	22
	10	0	0
	0	28	18
Do 10/4	100	18	26
	10	7	7
	0	13	3
Vr 11/4	100	15	15
	10	17	15
	0	5	8
Za 12/4	100	7	18
	10	0	16
	0	10	2

Tenslotte is het belangrijk om te vermelden dat in de realiteit tijdens de planningsdag continu veranderingen plaatsvinden. Sommige laadeenheden worden pas op de planningsdag doorgegeven door klanten, andere ladingen bereiken de terminal niet op tijd en dienen uit de laadplanning verwijderd te worden. Deze modeluitbreiding is dus in zekere zin een vereenvoudiging van de werkelijke treinplanning, maar biedt wel de mogelijkheid om snel tot een initiële toewijzing van laadeenheden aan een locatie op de trein te komen. Dit initiële laadplan kan daarna in de loop van de dag gewijzigd worden op basis van de wijzigingen die zich voordoen tijdens de dag.

3.6.5 Praktische instructies voor het uitvoeren van de modellen

Op vraag van Ewals Intermodal wordt in deze sectie ingegaan op de toepassing en het gebruik van het model. Er wordt aangegeven op welke manier met het basismodel en de modeluitbreiding een toewijzing van laadeenheden aan een locatie op de trein bekomen kan worden. De invoer van de gegevens gebeurt in een Excelbestand dat Aimms inleest. De gebruiker dient enkel basiskennis te hebben van Excel.

Voorafgaand aan het uitvoeren van het basismodel dienen het *unit number* en het gewicht van de laadeenheden die mogelijk op de trein geplaatst worden alsook de wagonnummers van de wagons die gebruikt zullen worden voor de specifieke trein in de betreffende tabbladen ('Laadeenheden' en 'Wagon') geplakt te worden. De overige eigenschappen van de laadeenheden en wagons worden automatisch aangevuld. Het enige dat de gebruiker daarna nog dient te doen, is de tabellen uit de vier tabbladen die de formules bevatten ('Laadeenheden', 'Wagon', 'Laadpatr' en 'Prioriteiten') kopiëren en plakken als waarden in de daarvoor voorziene kaders. Dit is nodig omdat Aimms enkel waardes en geen formules kan inlezen. Wanneer het bestand opgeslagen is, kan Aimms gemakkelijk een oplossing voor het model vinden en tonen.

Voor de modeluitbreiding die een volledige planningsweek hanteert, dienen eveneens de ladingsnummers en wagonnummers ingegeven te worden op dezelfde manier als het basismodel. De tabellen uit de drie benodigde tabbladen die de formules bevatten ('Laadeenheden', 'Wagon', 'Laadpatr') dienen gekopieerd en geplakt te worden als waarden in de daarvoor voorziene kaders.

4. CONCLUSIES

In deze masterproef werd onderzocht hoe laadeenheden zo efficiënt mogelijk kunnen worden toegewezen aan een specifieke locatie op de trein. In dit hoofdstuk zal getracht worden om de voornaamste conclusies te trekken uit de resultaten, die samen leiden tot een antwoord op de centrale vraag. Hiervoor worden in sectie 4.1 de belangrijkste conclusies aangehaald uit de wetenschappelijke literatuur alsook uit het praktijkonderzoek. Daarnaast worden enkele beperkingen gesteld aan het uitgevoerde onderzoek en worden suggesties voor verder onderzoek voorgesteld in sectie 4.2.

4.1 Conclusies uit literatuur- en praktijkstudie

In de literatuur worden verschillende methoden voorgesteld om een laadplanning op te stellen, met verschillende doelstellingen, zoals de minimalisatie van kosten of de maximalisatie van de bezettingsgraad. Ook in de beperkingen zijn verschillende combinaties van bepalende factoren mogelijk. De toegestane laadpatronen, gewichtsbeporingen per wagon en per trein, dubbele goederenbehandeling, de beweging van transportmaterieel en de herpositionering van pins zijn factoren die in enkele artikels genoemd worden en die kunnen meespelen in het bepalen van een goede laadplanning.

Bij Ewals Intermodal wordt voornamelijk rekening gehouden met de toegestane laadpatronen per wagon en de gewichtsbeporingen per wagon en per trein. De focus voor het inplannen van laadeenheden op een locatie van een trein ligt op het maximaliseren van het aantal laadeenheden dat op de beschikbare wagons geladen kan worden, om zo de kost van de wagonset te spreiden over zoveel mogelijk laadeenheden. De kost van een dubbele goederenbehandeling ligt veel lager dan de kost van het inzetten van een wagon. Daarom wordt eerder gekozen voor enkele extra goederenbehandelingen als hierdoor de kost van de wagon over meerdere laadeenheden gespreid kan worden en zal deze factor in de praktijk geen rol spelen.

Voor de opstelling van een laadplan worden de theoretische modellen uit de wetenschappelijke literatuur niet expliciet toegepast in de praktijk. Op basis van ervaring en inzicht wordt wel een goede laadplanning verkregen, door bijvoorbeeld kennis van mogelijke laadpatronen en de manuele berekening van toegestane gewichten. Uit de praktijkstudie blijkt dat de manuele planning bij Ewals Intermodal over het algemeen zeer effectief is, zeker wanneer de samenstelling van de wagonset dicht bij de ideale samenstelling ligt.

Door het gebruik van het voorgestelde uitgebreid model kan de efficiëntie van de treinplanning aanzienlijk verhogen. Het model helpt treinplanners om onmiddellijk een eerste toegelaten oplossing te vinden en eventueel ook meer laadeenheden op de trein te plaatsen, wat een kostenvoordeel betekent. Daarna dienen echter voortdurend aanpassingen aan het laadplan te gebeuren door de dynamische omgeving waarin de treinplanners werken. De uitkomst van het vooropgestelde model is een ideale oplossing, maar door het continu herplannen dat noodzakelijk is in een reële omgeving, is de finale laadplanning niet noodzakelijk meer optimaal.

Het model kan in de praktijk gebruikt worden om alle ladingen die op het moment van de planning beschikbaar zijn, inclusief ladingen zonder vaste losdatum, te overwegen in het laadplan. Op die manier kan de bezettingsgraad verhoogd worden en de kost per laadeenheid verlaagd worden. De combinatie van deze kostendaling met een verhoging van de efficiëntie zorgt voor een verhoging van de rendabiliteit van de intermodale terminal en biedt mogelijkheden voor een verdere groei van het aandeel van intermodaal transport ten opzichte van andere transportmodi.

4.2 Beperkingen en suggesties voor verder onderzoek

Intermodaal transport omvat de overslag van goederen van één vervoersmodus op een andere in één en dezelfde laadeenheid. In deze thesis ligt de focus op de overslag van laadeenheden tussen vrachtwagens en treinen. Weg- en spoorvervoer zijn immers in de meeste landen beschikbaar, terwijl minder landen toegang hebben tot waterwegen voor vervoer per schip (Bontekoning et al., 2004). Bovendien worden de eigenschappen van een intermodale terminal zoals lay-out en transportmaterieel als gegeven beschouwd. Daarnaast is er geen rekening gehouden met het dubbel stapelen van containers, omdat deze vorm van containertransport bijna niet voorkomt in Europa, onder andere vanwege het feit dat bruggen hiervoor te laag zijn gebouwd.

Er werd niet onderzocht in welke mate de standaardisatie van afmetingen van laadeenheden voor een efficiëntieverhoging van het laadplan kunnen zorgen, omdat afmetingen van de laadeenheden als gegeven beschouwd werden voor Ewals Intermodal. Ook werd ervan uitgegaan dat de wagonset geen uitzonderlijke laad- en wagontypes bevat. In de realiteit is dit wel nog het geval. In toekomstig onderzoek kan echter bekeken worden welke invloed standaardisatie van de laadeenheden heeft op de efficiëntie van het laadplan.

Bovendien dient opgemerkt te worden dat het praktijkmodel geen rekening houdt met de constante herzieningen van de treinplanning in de realiteit die gedurende de planningsdag gebeuren en die veel tijd in beslag nemen. Het voorgestelde model geeft dus geen finale planning, maar eerder een initiële planning die vatbaar is voor veranderingen die te wijten zijn aan de dynamische operationele omgeving waarin de treinplanning plaatsvindt. Het geautomatiseerde model is gebaseerd op historische gegevens, terwijl de planning in realiteit continu verandert door bijvoorbeeld veranderingen in de orders van klanten of wanneer laadeenheden niet op tijd de terminal bereiken. In mogelijk verder onderzoek kan het model uitgebreid worden om herzieningen in te plannen en het model realistischer te maken. Dit proces is echter moeilijk kwantificeerbaar en komt in de praktijk tot stand na overleg met andere planners en na overweging van de kosten en baten van de diverse alternatieven.

Tenslotte zou de geautomatiseerde treinplanning zoals die in deze thesis uitgevoerd werd voor de trein Genk-Novara aangepast kunnen worden om de trein Geleen-Novara te optimaliseren. Ook zouden op deze manier laadeenheden beter verdeeld kunnen worden over de vertrekstations Genk en Geleen om beide treinen verder te optimaliseren. Beide treinstations liggen immers dicht bij elkaar. Door beide terminals samen te beschouwen, kunnen de treinen met bestemming Novara van de twee terminals apart ook een meer optimale planning bekomen.

LIJST VAN DE GERAADPLEEGDE WERKEN

- Aggoun, A., Rhiat, A., & Grassien, J. (2011). Online assignment of containers to trains using constraint programming. *Lecture Notes in Computer Science*, 7080, 395-405.
- Ahaus Alstätter Eisenbahn AG. (z.d.). *Technischen Datenblatt*. Opgevraagd op 17 oktober, 2013, via <http://www.aae.ch/index.cfm?hID=120&sprache=1>.
- 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: Policy and Practice*, 38(1), 1-34.
- Boysen, N., Flidner, M., Jaehn, F., & Pesch, E. (2012). A survey on container processing in railway yards: decision problems, optimization procedures and research challenges. *Transportation science (accepted)*. doi: 10.1287/trsc.1120.0415.
- Bruns, F., Goerigk, M., Knust, S., & Schöbel, A. (2013). Robust load planning of trains in intermodal transportation. *OR Spectrum (accepted)*. doi: 10.1007/s00291-013-0341-8.
- Bruns, F., & Knust, S. (2012). Optimized load planning of trains in intermodal transportation. *OR Spectrum*, 34, 511-533.
- Caris, A., Macharis, C., & Janssens, G.K. (2008). Planning problems in intermodal freight transport: accomplishments and prospects. Transportation planning and technology. *Transportation planning and technology*, 31(3), 277-302.
- Corry, P., & Kozan, E. (2006). An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains. *Computers & Operations Research*, 33, 1-17.
- Corry, P., & Kozan, E. (2008). Optimised loading patterns for intermodal trains. *OR spectrum*, 30(4), 721-750.
- Ewals Intermodal Company presentation (2013). PowerPoint presentatie, Ewals Intermodal, Genk.
- Europese Commissie. (2011). *Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system* [white paper]. Opgevraagd via http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011_white_paper_en.htm.
- Feo, T.A., & González-Velarde J.L. (1995). The intermodal trailer assignment problem. *Transportation science*, 29(4), 330-341.
- Macharis, C., & Bontekoning, Y.M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 400-416.
- Macharis, C., Van Geirt, F., Van Mierlo, J., Timmermans, J., Matheys, J., De Vlieger, I., Schrooten, L., Govaerts, L., Pelkmans, L., & De Geest, C. (2005). *Transport – alternatieven voor een milieuvriendelijker vervoer*. Opgevraagd op 20 februari, 2012, via <http://www.milieurapport.be/upload/main/docs/Administrators/MIRA-T%202005/focusrapport/MiraT2005-05Def.pdf>.
- Marco Polo - New ways to a green horizon. (2012). Opgevraagd op 25 februari, 2012, via <http://ec.europa.eu/transport/marcopolo/>.
- Newman, A.M., & Yano, C.A. (2000). Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting. *Transportation science*, 34(3), 256-270.
- Powell, W.B., & Carvalho, T.A. (1998). Real-time optimization of containers and flatcars for intermodal operations. *Transportation science*, 32(2), 110-126.

- Reis, V., Meier, J.F., Pace, G., & Palacin, R. Rail and multi-modal transport. *Research in transportation economics* (2012). Opgevraagd via <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2012.10.005>.
- Strohmeier, M. (2009). *Intermodal optimization*. Ongepubliceerde postmaster thesis, Technische Universiteit Eindhoven, department of mathematics and computer science.
- Verma, M., Verter, V., & Zufferey, N. (2012). A bi-objective model for planning and managing rail-truck intermodal transportation of hazardous materials. *Transportation research*, 48(1), 132-149.

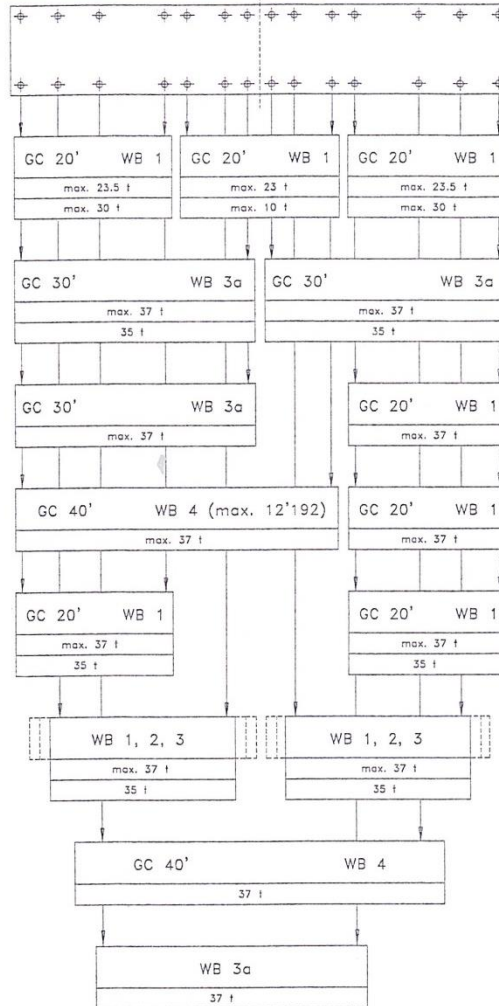
BIJLAGEN

Bijlage 1: laadpatronen voor een 60ft-wagon



Beladeschema für 60' Sgns/ss-Containertragwagen

60' 1



Grösse	Länge der Wechselbehälter (WB)
1	6'050
2	7'150
3	8'050
3a	9'125
4	12'192 bis 14'000

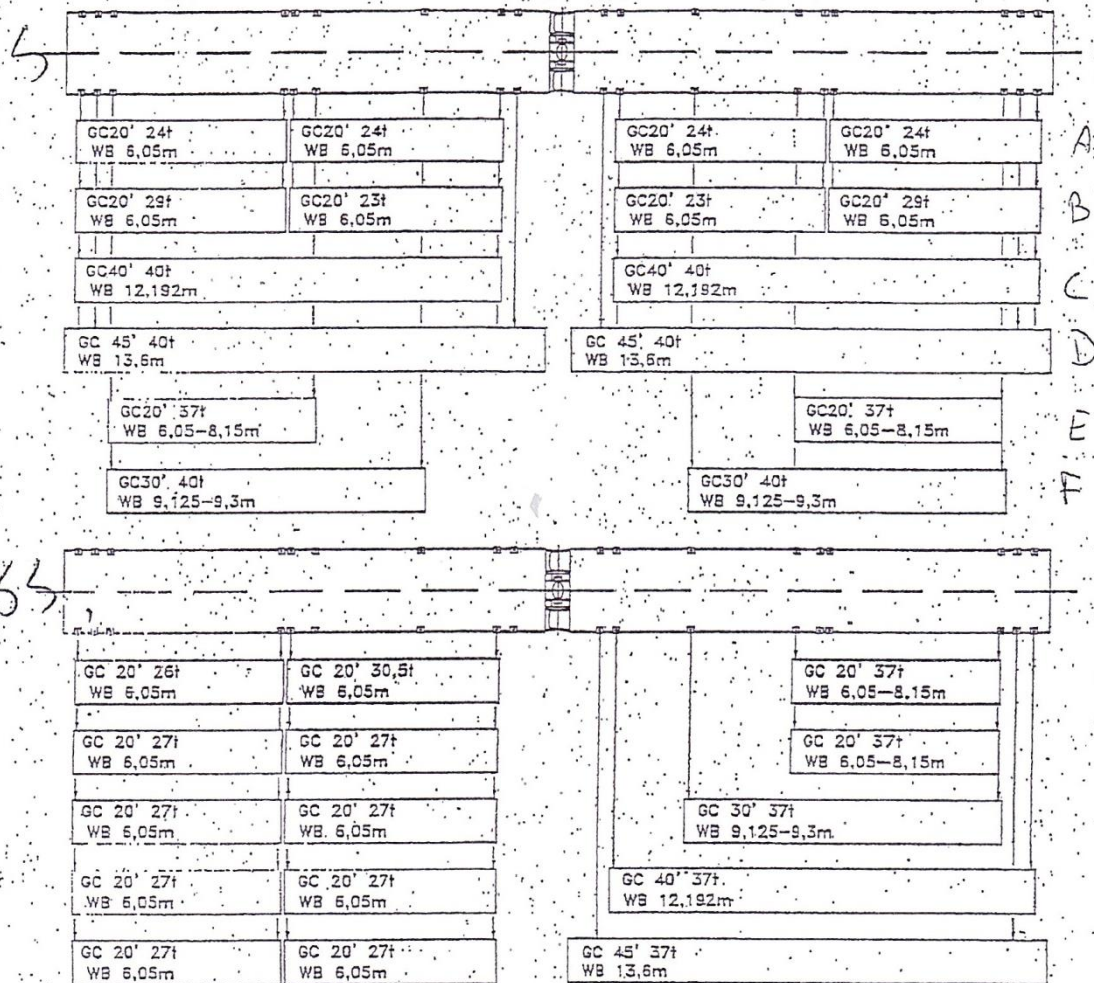
	A	B	C	D
S	44	52	62	70
SS	44	52	60	

AAE Ahaus Alstätter Eisenbahn AG

Postfach 856 • CH-6301 Zug • Tel. +41 (0)41 727 55 55 • Fax +41 (0)41 727 55 56 • www.aae.ch • info@aae.ch

BELADESCHEMA

für "Wechselbehälter- und Containertragwagen
Gelenkwagen Sggrss 90" - Bauart MSV



LASTGRENZEN : S

	A	B	C	D
S	67,0t	79,0t	94,0t	106,0t
120	00,0t			

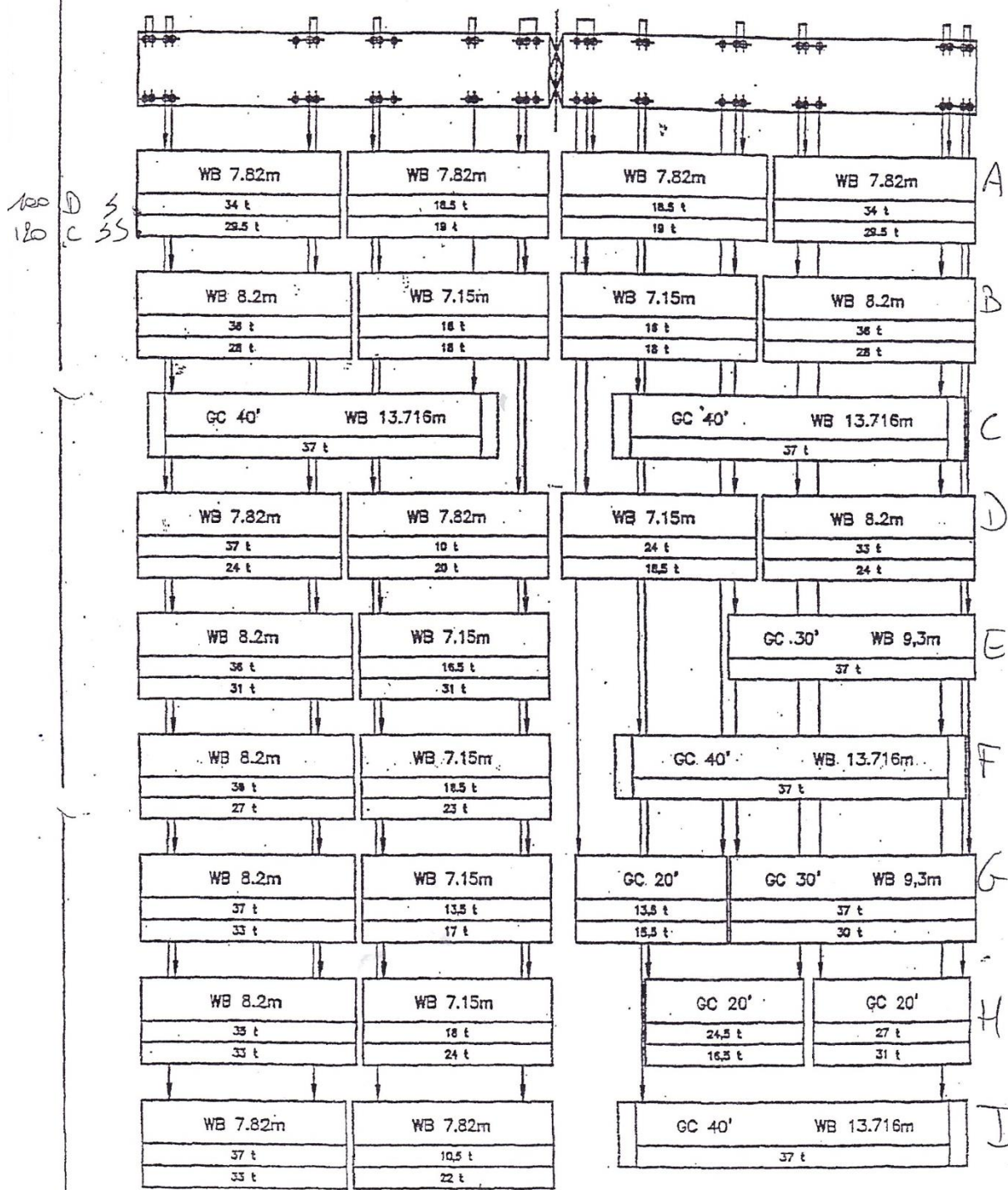
LASTGRENZEN : SS

	A	B	C	D
SS	67,0t	79,0t	94,0t	106,0t
SS	67,0t	79,0t	91,0t	

EIGENGEWICHT: 29,0t

11.6.01.HRP

Gelenkwagen Sggrss-104' Lt
Beladeschema für WB sowie WB/GC - Auswahl



Bijlage 4: eigenschappen van laadeenheden van Ewals Intermodal

Tabel A.1: curtainside swap body – 30 voet

Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Tarra/laadvermogen (kg)
9,12 x 2,44 x 2,44	9,29 x 2,53 x 2,75	3.500 kg / 28.000 kg

Tabel A.2: curtainside swap body - 45 voet

Serie	Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Laadopening (m)	Tarra/laadvermogen (kg)
77	13,62 x 2,48 x 2,53	13,72 x 2,55 x 2,90	Side: 2,42	4.924 / 28.000
78	13,61 x 2,46 x 2,58	13,72 x 2,55 x 2,90	Side: 2,47	4.920 / 28.000
08/09	13,62 x 2,48 x 2,44	13,95 x 2,54 x 2,76		5.200 / 28.000
06	13,62 x 2,48 x 2,44	13,95 x 2,54 x 2,76		6.200 / 27.500

Tabel A.3: bulk container - 30 voet

Serie	Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Laadopening (m)	Tarra (kg)
EWAU	8,95 x 2,47 x 2,51	9,12 x 2,55 x 2,75	Achter: 2,42	2.980 kg
ITEU	8,97 x 2,49 x 2,52	9,12 x 2,55 x 2,75	Achter: 2,42	2.940 kg
SOKU	8,96 x 2,47 x 2,53	9,12 x 2,55 x 2,75	Achter: 2,42	3.000 kg
TOTU	8,96 x 2,47 x 2,39	9,12 x 2,55 x 2,60	Achter: 2,30	2.940 kg

Tabel A.4: pallet wide box container - 45 voet

Serie	Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Laadopening (m)	Tarra/laadvermogen (kg)
VTIU	55 x 2,43 x 2,56	13,71 x 2,50 x 2,77	Achter: 2,44	4.500 / 28.000
VTIU-HC	13,55 x 2,49 x 2,69	13,71 x 2,55 x 2,91	Achter: 2,62	4.900 / 28.000

Tabel A.5: mega huckepack trailer - 45 voet

Binnenafmetingen (m)	Laadopening (m)	Tarra/laadvermogen (kg)
13,62 x 2,48 x 3,00	zijkant 3,11 / Achter 3,13	7.940 / 29.000

Tabel A.6: trailer met coil well - 45 voet

Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Tarra/laadvermogen (kg)
13,62 x 2,44 x 2,62	13,95 x 2,55 x 4,00	7.500 / 29.000

Tabel A.7: coil flats - 20 en 25 voet

Serie	Binnenafmetingen (m)	Buitenafmetingen (m)	Tarra/Laadvermogen (kg)	Lengte spoel(m)	Min/Max Ø midden (m)	Min/Max Ø zijkant (m)
95	6,06 x 2,44	6,10 x 2,55	2.850 / 30.000	5,65	Max 2,00 m	
72	5,95 x 2,17 x 1,92	6,58 x 2,55 x 2,44	2.900 / 30.000	2,13	1,60 m / 2,00 m	1,10 m / 1,40 m
63	7,04 x 2,13 x 2,44	7,15 x 2,54 x 2,44	2.900 / 30.000	2,13	1,80 m / 2,10 m	1,40 m / 1,80 m
10	7,00 x 2,44 x 1,82	7,15 x 2,54 x 2,44	2.850 / 30.000	2,13	1,40 m / 2,00 m	1,20 m / 2,00 m

Tabel A.8: gegevens van de wagons, trein 6 november 2013

j	Wagonnummer	Eigengewicht	Lengte	Laadvermogen	Assen	Type	Wagontype
DOMO 1	3388 4565 7075	19.780	20	70.000	4	60ft	1
DOMO 2	3388 4565 7992	19.780	20	70.000	4	60ft	1
1	3388 4541 3065	19.480	20	59.300	4	60ft	1
2	3388 4563 7200	20.160	20	70.000	4	60ft	1
3	3388 4565 6499	19.500	20	70.000	4	60ft	1
4	3388 4552 9779	18.840	20	70.000	4	60ft	1
5	3388 4563 9560	20.200	20	70.000	4	60ft	1
6	3388 4565 6713	19.400	20	70.000	4	60ft	1
7	3388 4563 5105	20.160	20	70.000	4	60ft	1
8	3388 4565 7158	19.600	20	70.000	4	60ft	1
9	3368 4953 2047	29.000	33,5	93.000	6	104ft	3
10	3780 4954 0875	29.000	29,6	106.000	6	104ft	3
11	3780 4954 0677	29.000	29,6	106.000	6	104ft	3
12	3388 4565 5574	19.700	20	70.000	4	60ft	1
13	3388 4565 6754	19.500	20	70.000	4	60ft	1
14	3368 4952 0521	28.320	29,6	107.500	6	90ft	2
15	3368 4954 3218	28.900	29,6	106.000	6	90ft	2
16	3368 4964 0956	29.000	29,6	106.000	6	90ft	2
17	3368 4563 5287	20.160	20	70.000	4	60ft	1
18	3388 4563 5204	20.160	20	70.000	4	60ft	1
19	3780 4954 0511	29.000	29,6	106.000	6	104ft	3
20	3388 4563 6806	20.160	20	70.000	4	60ft	1
totaal NOV		459240	471.1				

Tabel A.9: gegevens van de laadeenheden, trein 6 november 2013

i	Ladingsnummer (Greencat)	Ladingsnummer	Tarra	Type	Laadtype	Gewicht inhoud	Totaal gewicht
DOMO 1	EIBB 251008-6	EIBB 251008-6	2.850	30ftB	1	28.478	31.328
DOMO 2	EWAU 080158-3	EWAU 080158-3	2.980	30ftB	1	27.320	30.300
DOMO 3	EWAU 080022-6	EWAU 080022-6	2.980	30ftB	1	24.220	27.200
DOMO 4	ITEU 061373-9	ITEU 061373-9	2.940	30ftB	1	26.100	29.040
1	VTIU 000721-6	VTIU 7216	2.900	20ft	2	25.465	28.365
2	EIBB 256378-5	EIBB 256378-5	2.900	25ft	3	23.111	26.011
3	EIBB 256376-4	EIBB 256376-4	2.900	25ft	3	27.818	30.718
4	MEUL 100001-3	MEUL 100001-3	2.800	20ft	2	29.620	32.420
5	ITEU 061027-8	ITEU 061027-8	2.940	30ftB	1	26.040	28.980
6	SOKU 002005-8	SOKU 002005-8	3.000	30ftB	1	28.350	31.350
7	ITEU 061379-1	ITEU 061379-1	2.940	30ftB	1	26.640	29.580
8	ITEU 061165-4	ITEU 061165-4	2.940	30ftB	1	27.080	30.020
9	ITEU 061127-4	ITEU 061127-4	2.940	30ftB	1	27.168	30.108
10	EWAU 080027-3	EWAU 080027-3	2.980	30ftB	1	24.780	27.760
11	EWAU 080164-4	EWAU 080164-4	2.980	30ftB	1	24.780	27.760
12	SOKU 002067-5	SOKU 002067-5	3.000	30ftB	1	24.720	27.720
13	VTIU 702901-0	VTIU 702901-0	3.000	20ft	2	29.100	32.100
14	EIBB 256313-1	EIBB 256313-1	2.900	25ft	3	29.237	32.137
15	MEUL 100004-0	MEUL 100004-0	2.800	20ft	2	30.520	33.320
16	MEUB 100029-2	MEUB 100029-2	2.800	20ft	2	30.180	32.980
17	CRLU 000096-2	CRLU 962	5.200	45ft	5	24.657	29.857
18	VTIU 451130-6	VTIU 451130-6	4.900	45ft	5	26.400	31.300

19	VTIU 451135-3	VTIU 451135-3	4.900	45ft	5	6.271	11.171
20	RZSU 000774-0	RZSU 7740	4.924	45ft	5	24.537	29.461
21	VTIU 045902-5	VTIU 045902-5	4.900	45ft	5	8.000	12.900
22	VTIU 045919-6	VTIU 045919-6	4.900	45ft	5	7.589	12.489
23	EIBB 312049-9	EIBB 312049-9	4.820	30ft	1	23.950	28.770
24	VTIU 000721-8	VTIU 7218	2.900	20ft	2	27.756	30.656
25	TOTU 000351-0	TOTU 000351-0	3.050	30ftB	1	28.050	31.100
26	TOTU 000635-5	TOTU 000635-5	3.050	30ftB	1	28.400	31.450
27	EIBB 312029-3	EIBB 312029-3	4.820	30ft	1	21.222	26.042
28	VTIU 702920-0	VTIU 702920-0	3.000	20ft	2	28.880	31.880
29	SIBU 368598-2	SIBU 368598-2	3.800	40ft	4	26.920	30.720
30	VTIU 045019-9	VTIU 045019-9	4.500	45ft	5	8.118	12.618
31	EIBB 451334-0	EIBB 451334-0	4.924	45ft	5	27.327	32.251
32	VTIU 451092-7	VTIU 451092-7	4.900	45ft	5	6.198	11.098
33	EWAU 080072-0	EWAU 080072-0	2.980	30ftB	1	28.150	31.130
34	TOTU 000640-0	TOTU 000640-0	3.050	30ftB	1	28.250	31.300
35	SOKU 002179-5	SOKU 002179-5	3.000	30ftB	1	28.050	31.050
36	SOKU 002170-6	SOKU 002170-6	3.000	30ftB	1	28.400	31.400
37	EIBB 450947-0	EIBB 450947-0	5.200	45ft	5	27.570	32.770
38	EIBB 451341-7	EIBB 451341-7	4.924	45ft	5	28.335	33.259
39	EIBB 256318-9	EIBB 256318-9	2.900	25ft	3	29.843	32.743
40	VTIU 000631-6	VTIU 6316	2.900	25ft	3	24.746	27.646
Totaal NOV:							1.126.390

Tabel A.10: aantal slots per laadpatroon en per wagon, trein 6 november 2013

	Laadpatronen (a)																																									Wagon- type			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41				
Wagons (j)	1	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
	2	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	3	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	4	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	5	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	6	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	7	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	8	0	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	9	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3		
	10	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	
	11	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	
	12	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	13	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	14	0	1	1	1	1	1	4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	15	0	1	1	1	1	1	4	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	16	0	1	1	1	1	1	4	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	17	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	18	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	19	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	
	20	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabel A.11: prioriteiten, trein 6 november 2013

		Laadpatronen (a)																																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41			
Wagons (i)	1	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	12	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	20	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bijlage 6: laadpatronen en aantal slots per laadpatroon voor elk wagontype

Tabel A.12: laadpatronen wagontype 1 - 60 voet

Laadpatronen(a)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20ft	1					3			1	1	1	2		
25ft			1					2			1			1
30ft				1					2	1				1
40ft					1							1		
45ft						1								
Aantal slots	0	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2

Tabel A.13: laadpatronen wagontype 2 - 90 voet

Laadpatronen(a)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
20ft	1					4						3	2	2	2	2	2	1	1		1		1					2
25ft			1					2						1				1		1		1			1			2
30ft				1					2						1				1	1				1		1		
40ft					1					2						1					1	1		1			1	
45ft						1					2						1						1		1	1	1	
Aantal slots	0	1	1	1	1	1	4	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4

Tabel A.14: laadpatronen wagontype 3 - 104 voet

Laadpatr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41		
20ft	1			2							3		4		3	1	2	1	2	1	2		2					2	1				1		1		1	1	1	1	2		
25ft		1			2							3		4	1	3	2	2	1	1		2		2					2	1			1		1	1	1	1					
30ft			1			2															1	1			1							1	1	1		1				1	2		
40ft				1			2																	1	1	1	1								1	1		1					
45ft					1				2																			1	1	1	1	1	1	1						1	1		
Aantal slots	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Laadplanning van treinen in intermodaal transport

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2014**

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Heggen, Hilde

Datum: **26/05/2014**