

Intermodaal railvervoer moet innoveren

Vergelijking van de voordelen van schaalvergroting of omloopversnelling in de innovatieprojecten Marathon, Spider, Twin hub en Spectrum

Kreutzberger, Ekki

Publication date

2016

Document Version

Accepted author manuscript

Published in

Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2016

Citation (APA)

Kreutzberger, E. (2016). Intermodaal railvervoer moet innoveren: Vergelijking van de voordelen van schaalvergroting of omloopversnelling in de innovatieprojecten Marathon, Spider, Twin hub en Spectrum. In *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2016: VLW 2016* (pp. 209-228)

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Intermodaal railvervoer moet innoveren.

**Vergelijking van de voordelen van schaalvergroting of omloopversnelling
in de innovatieprojecten Marathon, Spider, Twin hub en Spectrum**

E.D. (Ecki) Kreuzberger

TU Delft (Bk-OTB)

e.d.kreuzberger@tudelft.nl

+31 6 28616593

**Bijdrage aan de Vervoerslogistieke Werkdagen
17 en 18 november 2016, Mechelen (België)**

Samenvatting

Innovatie van intermodaal railvervoer moet ertoe bijdragen dat het vervoersaandeel van intermodaal vervoer sterk groeit naar niveaus die Europa en zeehavens ambiëren. Marathon, Spider/Twin hub en Spectrum zijn drie concepten die een redelijk brede range van innovatierichtingen vertegenwoordigen, reikend van schaalvergroting tot versnelling van treinomlopen op netwerkniveau. Alle hebben vernieuwing van knooppuntprocessen in het vizier. Marathon en Spectrum focussen daarnaast op innovatieve voertuigconcepten (locs, wagons, hun aansturing en gebruik). Ieder concept pretendeert de prestaties van intermodaal vervoer te verbeteren, waaronder kostenverlaging. De bewijsvoering door de projecten bevestigt de conceptuele logica van de concepten niet altijd. Ook zijn de concepten moeilijk te vergelijken waar het gaat om prestatieverbetering. Deze paper schetst de vernieuwingsopgave, de innovatielogica van de alternatieve concepten, en de door de projecten aangegeven prestatieverbeteringen. Vervolgens worden de belangrijkste maatregelen van ieder concept ingevoerd in een railkostenmodel om op indicatieve wijze de ordes van grootte van kostendalingen in beeld te brengen en te vergelijken. De exercitie tempert enkele verwachtingen, maar brengt ook kansrijke perspectieven in beeld die niet tot de resultaten van de projecten behoorden.

1 Inleiding

Intermodaal spoorvervoer wordt geacht een sleutelrol te spelen in het Europese goederenvervoer. De hoofdreden is dat de samenleving streeft naar duurzaam vervoer en derhalve naar modal shift naar duurzame vervoerwijzen. Spoorvervoer is zo'n vervoerwijze. Het genereert minder maatschappelijke kosten dan wegvervoer en wordt gezien als een kanskaart van het Europese spoorvervoer (CER, 2013), een marktsegment met veel groeipotentieel. Een echte doorbraak van intermodaal spoorvervoer in termen van modal shift is echter nauwelijks zichtbaar. Decennia na de invoering van de container, ligt het aandeel van intermodaal spoorvervoer slechts rond 9% van alle goederenvervoer in de Europese Unie (Kombiconsult et al., 2015), ondanks het best wel grote succes op enkele corridors met grote stromen. De matige modal shift is te wijten aan matige prestaties. Intermodaal spoorvervoer is niet voldoende aantrekkelijk in termen van kwaliteit en kosten (Cardebring et al., 2000; Schoemaker et al., 2012; CER, 2013, Alice, 2013). Een centrale oorzaak van hoge kosten zijn kleine treinladingen ofwel korte treinen. Incidentele observaties, maar ook structurele observaties voor een heel land (zoals Engeland; Woodburn, 2011) duiden aan dat vele treinen lengtes hebben van slechts 400-500m, terwijl 600-700m mogelijk is, afhankelijk van de corridor, en enkele corridors meer. Een andere hoofdoorzaak van hoge kosten zijn lange omlooptijden van treinen. Die lengte is de som van processen (rijden, handling op knooppunten, het wellicht moeten bezoeken van meerdere terminals in knooppunten) en wachttijden (in b.v. zeehavens

vanwege prioriteit van de kade; onderweg vanwege wachten op personentreinen; aan de grens vanwege het wisselen van locs). Ook zijn er wachttijden die met transportkwaliteit te maken hebben zoals – van belang vooral voor continentale stromen – de vertrek- en aankomsttijden van nachtsprong diensten (eind van de dag vertrekken en eind van de nacht aankomen). Deze tijden impliceren voor vele verbindingen langere reservetijden in de treinomloop en verlagen de omloopproductiviteit. Het is in dit opzicht vaak kiezen tussen lagere kosten of hogere kwaliteit.

Tegen de achtergrond van nogal matige prestaties zijn de spoorsector en de R&D-sector op dit gebied steeds weer op zoek naar innovaties die tot verbetering van de prestaties van intermodaal railvervoer leiden. De innovaties hebben betrekking op netwerkdiensten, knooppuntendiensten, voor- en natransport, infrastructuur op links en knooppunten, voertuigen, componenten van infrastructuur of voertuigen, de wederzijdse afstemming tussen de processen van de transport operators en de klanten o.a. locaties en tijd), samenwerkingscommunicatie en organisatie en/of de alles ondersteunende intelligentie. Deze paper richt zich op een deel van deze innovatie, namelijk drie alternatieve concepten om intermodaal spoorvervoer te innoveren. Ze zijn het voorwerp van vier Europese projecten, namelijk Marathon (concept 1), Spider (concept 2), Twin hub network (concept 2) en Spectrum (concept 3). Deze projecten zijn interessant om te vergelijken omdat ze nogal een brede range van innovatierichtingen afdekken. Marathon is extreem in zijn focus op schaalgrootte, Spectrum extreem in zijn focus op korte transporttijden en een hoge omloopproductiviteit, ook waar dit ten koste gaat van schaalgrootte. Spider en Twin hub zitten qua focus hiertussen en zijn extreem in hun streven naar efficiënte hub-en-spoke netwerken.

De structuur van deze paper is als volgt. Paragraaf 2 beschrijft Marathon, paragraaf 3 Spider en Twin hub network, paragraaf 4 Spectrum. In paragraaf 5 worden de concepten vergeleken. Paragraaf 6 bevat de conclusies.

2 Marathon

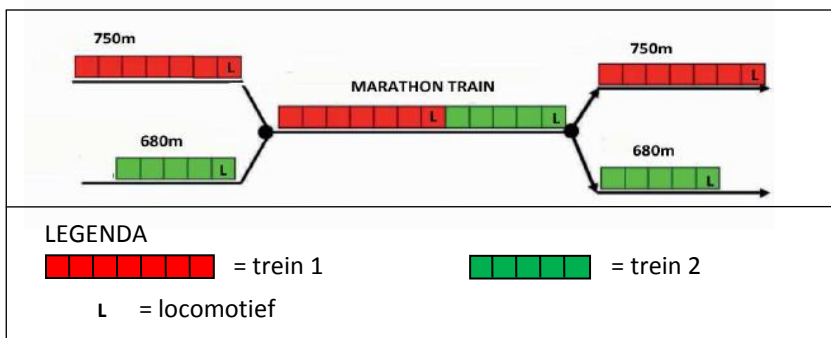
Marathon heeft tot doel om met een efficiënt railproduct in te spelen op de groei van transportstromen, de schaalvergroting in de zeevaart, om meer de vervoeren met de beschikbare middelen en de railinfrastructuur in zeehavens en daarbuiten te ontlasten.

Marathon treinen zijn dubbel lang (in de pilot 1500m) en bestaan uit twee gekoppelde lange directe treinen, samen getrokken door twee locs waarvan één in het midden van de trein (slave) en de andere aan het begin (master). In de regio van herkomst worden de twee treinen op b.v. een plat rangeerterrein gekoppeld, in de regio van bestemming weer gesplitst. Het geheel stelt een vorknetwerk (zijnde een van de vijf basistypes voor de bundeling van goederenstromen, naast directe, hub-en-spoke, lijn en stamlijn-feeder netwerken; zie Kreutzberger, 2008 a en b) voor. Tussen het

koppel- en het splitspunt, dus in het verplaatsingsdeel van het netwerk (figuur 1), worden de machinisten van één trein uitgespaard en in vele Europese landen, namelijk waar de kosten voor een rijpad per *trein*-km worden berekend, ook de infrastructuurkosten van één trein. Op iedere lokale tak rijdt een "normaal" lange trein (in de pilot 750m). Door de lokpositionering is de operationele overgang tussen het verplaatsingsnetwerk en de lokale treinnetwerken eenvoudig, snel en goedkoop.

Over het algemeen zijn intermodale rail vorknetwerken minder voordelig dan de bundelingsalternatieven hub-en-spoke netwerken of lijnnetwerken (Kreutzberger 2008a en b). Dit is 1) omdat de treinen in de lokale takken van het vorknetwerk – uitgaande van de "normale" lengte op het verplaatsingsnetwerk – kort en dus per laadeenheid duur zijn en 2) omdat er op de lokale netwerkdelen meer locs nodig zijn dan in het verplaatsingsnetwerk wat 3) ook meer inspanningen op de koppel- en splitspunten vergt. Het Marathon vorknetwerk heeft al deze nadelen niet en op het verplaatsingsnetwerk dan ook nog kostenvoordelen door de extra lengte. Een afgeleid voordeel is dat meer lading gebruik maakt van een treinpad wat gunstig is voor de spoorcapaciteit en de infrastructuurkosten per laadeenheid. Een voorwaarde voor de Marathon trein is dat de route op gezette afstanden inhaalsporen heeft van 1500m. Die moeten op geplande routes eerst worden aangelegd. Een tweede voorwaarde is dat de beveiligingssystemen overal, ook in de knooppunten, past bij de treinlengte.

Figuur 1 1500m Marathon trein (Bron: Toubol en Castagnetti, 2014a; legenda toegevoegd door auteur)



Een Marathon trein leent zich, anders dan wat een vorknetwerk over het algemeen suggereert, niet voor kleine stromen. Dit concept is vanwege zijn schaalgrootte geen bundelingsalternatief voor hub-en-spoke- of lijnnetwerken of andere vormen van complexe bundeling. Het gaat hier in beginsel om de koppeling van twee *directe* treinen. Bij wijze van spreken ga je van Bremen naar Verona en van Hamburg naar Padua niet met twee aparte directe treinen, maar tussen een Noord Duits en een Italiaans rangeergebied in gekoppelde formatie, de Marathon trein. Wel zou men het concept verder kunnen ontwikkelen tot de koppeling van twee lijntreinen of twee hub-en-spoke-treinen.

De Marathon trein is in januari en april 2014 (Castagnetti and Toubol, 2014b; Brigenshaw, 2014) in Frankrijk in een samenwerking van SNCF en Kombiverkehr getest op de longitudinale krachten in de trein, en het technisch functioneren van de master-slave-tractie en van de noodscenario's mocht de radiocommunicatie tussen beide treindelen een keer niet werken.

Gezien de afwezigheid van 750m lange treinen is ook de koppeling van drie kortere – gemiddeld 500m lange treinen – voorwerp van de tests geweest, waaronder 1 niet-intermodale trein. De test vond plaats op een traject van 300km tussen de rangeerterreinen Sibelin (nabij Lyon) en Nimes. De gekoppelde treinen (samen 4100 ton, 70 wagons) hadden een maximale snelheid van 120km/u.

3 Spider en Twin hub network

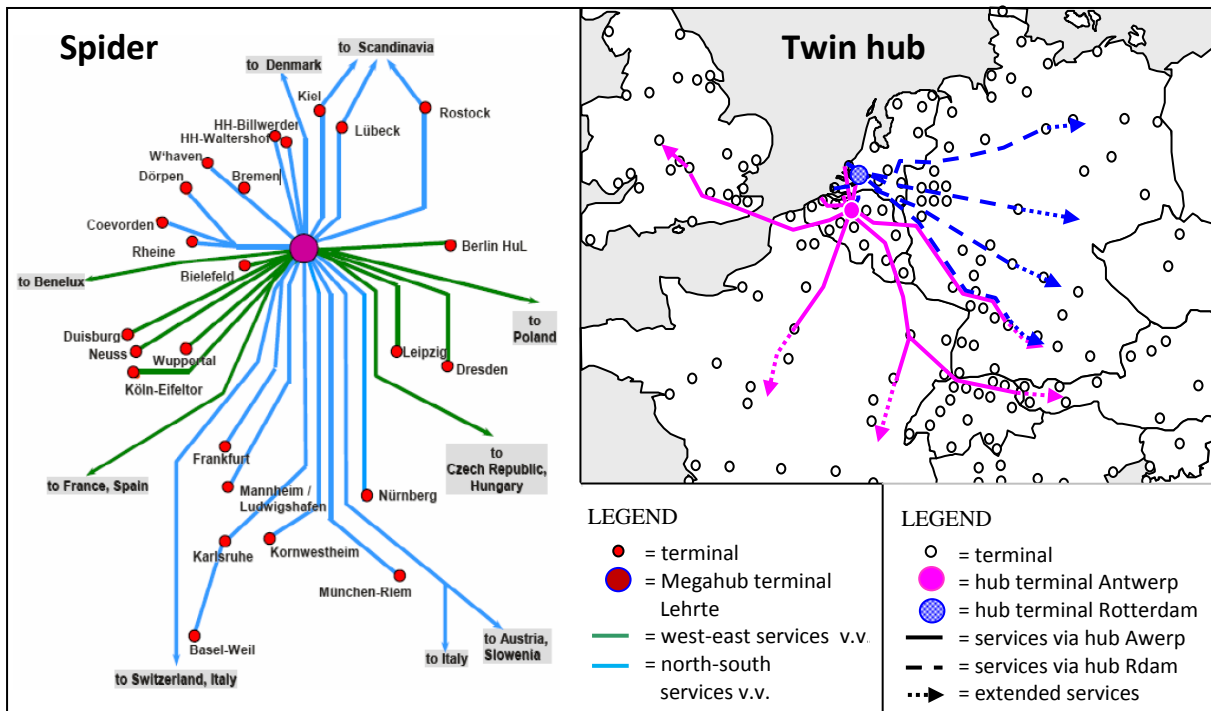
Spider en Twin hub network hebben tot doel om de prestaties te verbeteren van intermodaal railvervoer, door voor railstromen die te klein zijn om een directe trein op het gewenste frequentieniveau te vullen (wij noemen deze less-than-trainload ofwel LTL-stromen) efficiënte hub-en-spoke (= HS) netwerken te ontwikkelen. HS-netwerken leveren een bepaalde netwerkconnectiviteit op met minder treinverbindingen dan netwerken van directe treinen ze hebben. Op grond van het kleiner aantal treinverbindingen is het mogelijk om ook voor LTL-stromen grote treinladingen (lange treinen) en/of een hoge(re) netwerkconnectiviteit en/of hoge(re) transportfrequenties te organiseren.

Spider

Spider gaat over HS-netwerken waarmee intermodale maritieme en continentale railstromen van Duitse zeehavens (Wilhelmshaven, Breme(rhave)n, Hamburg en diverse Oostsee-havens) en andere rail terminals tot treinladingen gebundeld worden om de prestaties van railvervoer te verbeteren. In het middelpunt staat de geplande Megahub terminal Lehrte bij Hannover en het intermodale netwerk 2015+ (figuur 2). De Megahub onderscheidt zich van andere rail terminals onder meer door het terminal interne transport- en sorteersysteem (= TITSS). Dit ontlast de terminalkranen bij trein-trein overslag door laadeenheden tussen verschillende kraansegmenten te transporteren, in het uiterste geval van de voorste positie van één trein naar de achterste positie van en andere trein. Een TITSS bevordert bij grote hoeveelheden rail-rail overslag de overslag efficiëntie. Voor bepaalde intermodale markten is het uitwisselen van wagongroepen door rangeren een alternatief voor rail-rail overslag op een terminal (zie Kreutzberger en Konings, 2016).

Het Spider netwerk is al in de jaren 1990 bedacht door Hacon (Gaidzik et al., 1994), Deutsche Bahn, KombiVerkehr en DUSS (samen in KV-Technologieplattform 2000+, 1995), net als de hub terminal met TITSS door de firma Noell (Franke, 2000). In de Spider-periode zijn netwerk en terminal aangepast om ook geschikt te zijn voor maritieme stromen.

Figuur 2 HS-netwerken van Spider en Twin hub



Het productiesysteem van Spider met rail-rail overslag op een tussenliggende hub-terminal is in het project Tiger getest. In het middelpunt staat een verbinding Frankfurt/Main-Ludwigshafen (BASF) via München Riem (hub) naar Italië en Griekenland. De testambitie van Tiger was om aan te tonen dat het concept "op commerciële basis" levensvatbaar kan zijn. Één van de testvoorwerpen was meer ervaring opdoen met ad momentum binnenrijden van een trein bij de terminal München. Hierbij rijdt de elektrische trein met vaart door het overslaggebied van de terminal waar zich geen bovendraad bevindt en dus geen stroomvoorziening voor de trein in plaats van dat voor het overslaggebied de elektrische door een lokale diesellocomotief wordt vervangen. Dit bespaart kosten en tijd.

Het project Tiger laat, los van de test, de HS-bundelingsopties en praktijken van en naar Duitse zeehavens en andere knooppunten de revue passeren. Het project bepleit ook de verdere ontwikkeling van HS-netwerken die niet terminal-gebaseerd zijn. De referentie hierbij is het HS-netwerk dat Nienburg, een plat rangeergebied nabij de zeehavens als hub gebruikt.

Twin hub netwerk

Twin hub richt zich op de bundeling van maritieme en continentale stromen van meerdere zeehavens (in het bijzonder Rotterdam en Antwerpen) door middel van HS-netwerken. Nederlandse laadeenheden gaan met Antwerpen-treinen waar die goed in de markt staan of zouden kunnen staan, en Belgische laadeenheden met Rotterdam-treinen die waar die goed in de markt staan of zouden kunnen staan. Kleinere zeehavens in de Duinkerke-Amsterdam range takken per spoor aan op de verbindingen van de twee grote zeehavens. Met dit concept kan de schaalgrootte van railvervoer en

de netwerkconnectiviteit van de genoemde havens worden verhoogd, vergelijkbaar met wat er in Duitsland al sinds lang gebeurt. Afwijkend van Duitsland en conform de geopolitieke context, werkt Twin hub niet met één hoofdhub (zoals Lehrte), maar met meerdere hublocaties, gelegen in de regio's van de zwaartepunten van de stromen in het geding. Dat zijn in beginsel Antwerpen en Rotterdam. Iedere trein en laadeenheid bezoekt – in het belang van goede prestaties – per reis alleen één hub. Afhankelijk van de richting van de treinen van een uitwisselingsgroep zal er van de hub Rotterdam of Antwerpen gebruik gemaakt worden.

Vermijden van inefficiënte operaties is een belangrijk conceptueel element. In dit verband streeft het project naar rail-rail uitwisseling per terminaloverslag of uitwisseling van wagongroepen. De uitwisseling op de hub is bij lage frequenties (zoals 3 diensten per week) idealiter simultaan om te voorkomen dat de wachttijden van continentale laadeenheden te lang worden.

De hublocatie is corridorneutraal gelegen en nabij de toegang van het hoofdspoor naar de haven. **Corridorneutraal** wil zeggen dat men makkelijk vanuit de hub alle railcorridors kan bereiken. Nabij het hoofdspoor heeft tot doel om het havenspoor niet onnodig te belasten doordat treinen op het havenspoor heen *en* terug moeten rijden. Corridorneutraal voor de zeehavens is wat in andere projecten (b.v. Toubol en Castagnetti, 2014b) **close to the port** hublocaties wordt genoemd, te onderscheiden van **close to the market** locaties. Twin hub bezigt als tegenstelling van corridorneutraal de term **corridorspecifiek**. Dit is meestal een close to the market locatie, maar kan ook een andere close to the port locatie zijn, zoals Antwerpen of Dourges voor Rotterdam.

De microlocaties in de hub-regio's zijn een apart verhaal omdat – anders dan zichtbaar bij projectbegin – noch Rotterdam noch Antwerpen inzetten op ontwikkeling resp. behoud van HS-netwerken als hoofdbundelingsvorm voor intermodale LTL-stromen. In plaats daarvan wordt virtuele bundeling toegepast of voorbereid, en het gebruik van corridorspecifieke hubs voorgestaan. Virtuele bundeling is het proces waarbij laadeenheden naar inlandterminal X van alle haven rail terminals naar de ene haven rail terminal worden gebracht van waaruit de trein naar inlandterminal X vertrekt. Op de Maasvlakte zal, aldus de intentie, dit per interne baan voor multi-trailer voertuigen e.d. tussen de rail terminals gebeuren en elders in de haven voornamelijk per binnenschip en vrachtauto. In Antwerpen geschiedt dit al langer per binnenschip en vrachtauto. Als corridorspecifieke rail hub terminals voor Antwerpen en Rotterdam valt vooral te denken aan Duisburg en Dourges. Deutsche Bahn stelt dat Duisburg de hub voor de "west"havens is. Andere terminals langs de Rijn in Noordrijn-Westfalen, zoals Neuss en Keulen-Eifeltor, hebben ene vergelijkbare functionaliteit. Geen van al deze terminals is voor grote hoeveelheden rail-rail overslag ontwikkeld.

De geschetste bundelingsinnovatie van Rotterdam en Antwerpen heeft de volgende impact. De virtuele bundeling impliceert buiten de Maasvlakte onvermijdelijk meer wegvervoer in Rotterdam en

Antwerpen. Het gebruik van corridorspecifieke hubs betekent dat er op iedere begin terminal in de haven meer gesorteerd moet worden en dat het tot de hub moeilijker is om de treinen te vullen en het havenspoor efficiënt te gebruiken. Daartegenover staat dat de bundelingsmassa's vanaf de hub groter zijn omdat daar andere stromen (b.v. die van Duisburg) erbij komen. Een belangrijk impact van corridorspecifieke hubs is ook dat het voor kleine zeehavens zoals Zeebrugge, Vlissingen, Moerdijk en Amsterdam, moeilijker wordt om treinen te organiseren. Hun hoofdperspectief ligt in het snel (dat is per corridorneutrale hub in de grote zeehavens) per trein kunnen aantakken op de stromen van de grote havens. Deze trein gaat verder tot een inlandterminal in het belang van een betere omloopproductiviteit en is tussen de haven en de corridorneutrale hub bont beladen.

Het project heeft op grond van een stromenanalyse (daarin dienden de stromen in intermodale laadeenheden die nu over de weg gaan en een bepaalde omvang hebben als potentieel) kansrijke regio's geïdentificeerd en op deze basis een pilotnetwerk gedefinieerd (voor beschrijving zie Kreutzberger en Konings et al. 2014). De rail operators in het project - dit waren in de beslissende fase ERS (NL), IMS (CH) en Russell (UK) – hadden hierbij de doorslaggevende stem. Vervolgens zijn de pilotverbindingen operationeel uitgewerkt (treinomlopen, terminalbezoeken) en is de economische haalbaarheid van het pilotnetwerk geanalyseerd en – grotendeels – bevestigd.

De eerste pilottrein is eind 2013 opgestart, maar de treindiensten van de andere twee operators volgden niet volgens de planning waardoor de eerste pilottrein weer werd stopgezet. Bij een tweede poging bleek het nog moeilijker om de plannings van de rail operators op elkaar af te stemmen.

4 Spectrum

Het Europese project Spectrum heeft modal shift van "lage dichtheid-hoge waarde" (LDHV)-goederen tot doel, namelijk verschuiving van weg- naar railvervoer. Dit moet worden bewerkstelligt door de prestaties van railvervoer te verbeteren waarvoor een innovatief spoorconcept is bedacht. De kern hiervan zijn relatief korte treinen (b.v. 300 of 400m lang) die sneller rijden, versnellen en remmen dan huidige goederentreinen. Hun treinpaden lopen in tijd-weg-diagrammen tamelijk parallel aan personentreinen zodat er meestal geen inhalen door personentreinen nodig is. Dit verhoogt de kans dat Spectrum-treinen geschikte treinpaden krijgen en leidt vanwege treinpaden en snelheid tot betere deur-tot-deur (DTD) tijden van goederen en kortere omlooptijden van treinen. Spectrum-treinen mikken wat kosten betreft primair op verhoging van de rijsnelheid en de omloopproductiviteit (niettemin krijgen ook schaalgrootte en transportbundeling aandacht). Door kortere DTD-tijden kunnen de tijdskosten van verladings afnemen en kan het marktgebied van de rail operator vergroot worden. Een hogere omloopproductiviteit kan de tijdskosten (w.o. kapitaalslasten van locs en wagons en kosten van machinisten) doen afnemen en kan bewerkstelligen dat een transportdienst met minder wagonsets e.d. kan worden uitgevoerd.

De snelheid is een uitdaging. Die hoeft in vele gevallen niet even hoog te zijn als van een personentrein omdat deze tussendoor bij stations stopt. Niettemin zou een maximale snelheid van de goederentrein van 160km/u wenselijk zijn. Dit op zijn beurt vergt veelal een dubbele loc waardoor de treinkosten sterk toenemen wat ongewenst is. Uit nader onderzoek blijkt dat de Spectrum treinen meestal (mede afhankelijk van de topografie) toch met een maximale snelheid van 140km/u kunnen volstaan (Jackson et al., 2015).

Het project heeft een nieuwe goederenwagon ontwikkeld. Die weegt aanzienlijk minder dan conventionele wagons voor containers en komt ook tegemoet aan andere doelstellingen waaronder: 1) volledig beladen 140 of 160km/u kunnen rijden, 2) beter kunnen versnellen en remmen, 3) weinig geluid produceren (belangrijk met name in stedelijke gebieden), 4) flexibel en efficiënt beladen kunnen worden door vele types laadeenheden en 6) reefern elektrisch kunnen koelen. De investeringskosten liggen 30% boven die van een referentiewagon (wat minder kostenverhoging betekent dan het gebruik van twee locs per trein), de onderhoudskosten van de wagons 30% lager.

Gezien de markt spelen kleinere types terminals een centrale rol. Het project heeft verschillende productiemodellen (b.v. met shuttle of CargoSprinter; of met reach stacker, Metrocargo of Innovatrein handlingstechnologie) verkend en hoe Spectrum-treinen tot in het centrum van (grotere) steden kunnen rijden en gecombineerd kunnen worden met concepten om goederen te distribueren. De railbevoorrading zou de transportkwaliteit en leefbaarheid in grote steden ten goede komen.

Het project heeft best practices en innovatiewensen voor LDHV-goederen uit de praktijk bekeken om te zien waaraan Spectrum-diensten mogelijk zouden moeten voldoen (Proctor&Gamble, EURO CAREX, Green Rail/Flora Holland, Monoprix en Innovatrein). De cases sluiten op zeer verschillende wijze aan op Spectrum, soms meer, soms minder: behoefte aan een kleine terminal nabij de fabrieken, goederenrailvervoer per TGV in plaats van "luchtvaart" over de weg, railvervoer van bederfelijke vracht in speciaal ontwikkelde containers, fast moving consumer goods naar de stad (Parijs), uitgekende dienstregeling voor hoogfrequent korte afstand-railvervoer in Zwitserland.

5 Orde groottes van prestatieverbeteringen

In dit hoofdstuk worden de verbeteringen van de belangrijkste soorten prestaties (markten, transportkosten, transporttijd, infrastructuurbeslag, ruimtelijke aspecten) door de drie groepen innovatieconcepten globaal met elkaar vergeleken. Eerst worden de onderzoeksresultaten van de projecten besproken, voor zover toegankelijk in openbare documenten, hier en daar aangevuld door verheldering per e-mail of telefoon. Daarna worden de innovatieprincipes van de concepten in een eigen kostenrekenmodel ingevoerd om de verandering van transportkosten met elkaar te vergelijken.

5.1 Onderzoeksresultaten van de projecten

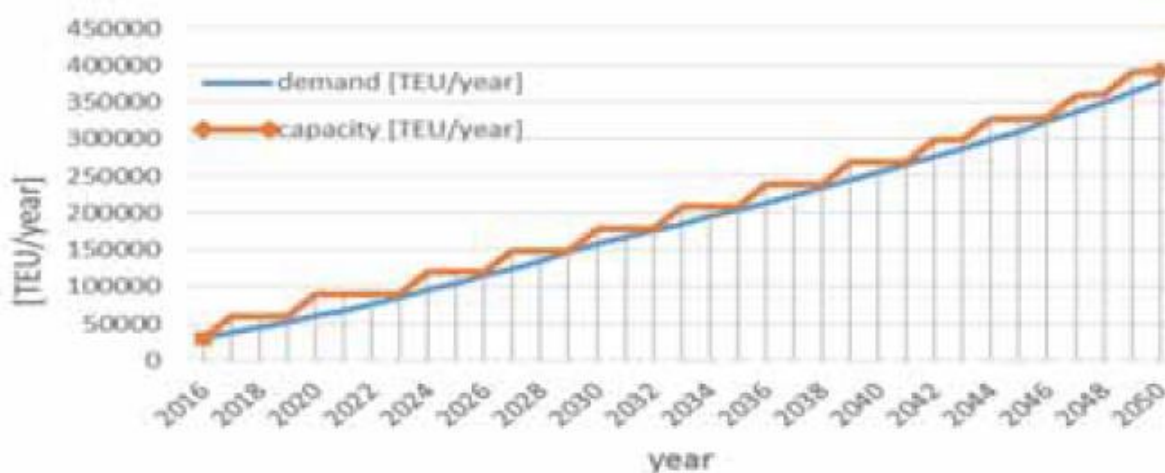
5.1.1 Prestatieverbeteringen volgens de projecten

Marathon leidt volgens het project tot de volgende prestatieverbeteringen:

- 10% energiebesparing gemonitord in de test. De energiebesparing onder verschillende omstandigheden vergt zoals het project aangeeft nog nadere analyse;
- tot 30% lagere operationele kosten (= doelstelling en uitkomst volgens het project). In het Marathon hoofdrapport ("handbook") wordt de economische haalbaarheid aangetoond m.b.v. de economische netto contante waarde (EPNV). Hierin wordt de business filosofie van Marathon meegenomen, namelijk eerst een trein aan te bieden waarvan de markt geleidelijk gebruik maakt in plaats van eerst klanten te contracteren en dan een treindienst te starten. In figuur 3 is dit weergegeven door de aanbodlijn die boven de vraaglijn ligt. De filosofie wordt toegelicht: "A new offer-driven Business Model is necessary compared to the old fashioned demand-driven. In the service industry, services must be available if one wants the customers to buy them. When services are not available, which is the prevailing situation in rail freight, the customers are not in a position to purchase services that do not exist. In rail freight it takes months to produce a new service being rail freight in a "closed system". During such lapse of time the customer is finding new solutions, new routings which do not consider rail as a viable proposition. This still is and has been the prime cause of continuous rail freight decline." (Toubol, A., en F. Castagnetti, 2014b, blz. 206). De EPNV is voor twee types wagons (scenario's) positief;
- minder beslag op de spoorcapaciteit. Vijf Marathon-treinen (ofwel 10 standaardtreinen) vergen in het verplaatsingsdeel van het vorknetwerk dezelfde capaciteit als zes standaardtreinen.

Figuur 3 Treincapaciteit MARATHON loopt capaciteitsvraag vooruit; 13 treinen voor case studie met route o.a. via Lille-Lyon

(Bron: Toubol, A., en F. Castagnetti, 2014b, blz. 174; "scenario B")



Nut en noodzaak van de Megahub Lehrte en zijn HS-netwerk (zoals het Intermodale netwerk 2015+) is al in tal van eerdere onderzoekskaders bekeken (beginnend in de jaren 1990, zie boven). De op de websites beschikbare **Spider plus**-rapporten laten zich nauwelijks uit over het **Spider** netwerk, maar vooral over toekomstig beleid t.a.v. intermodale railnetwerken en knooppunten. Het definitieve rapport van **Tiger** (Castagnetti, 2013) doet alleen *kwalitatieve* uitspraken over de resultaten van de testtrein via München Riem. Een kleine uitzondering is het ad momentum binnenrijden van treinen bij de hub-terminal waarvan gekwantificeerde baten zonder veel onderbouwing worden gepresenteerd: per treinbezoek een tijdsbesparing van 50-85 minuten en per laadeenheid een kostenvoordeel van 250-350 euro.

Veelbelovende **Twin hub** regio's werden in 200-300km brede corridors langs de Duitse westgrens en de Franse noord- en oostgrens geïdentificeerd. Daarnaast kwamen de regio Lyon en enkele regio's in Polen als kansrijk in beeld (zie Kreutzberger en Konings et al. 2014). Bij vele van deze regio's zijn de stromen te dun voor aparte treindiensten van iedere zeehaven en is derhalve bundeling van stromen van Antwerpen en Rotterdam van groot nut. In een groter deel van de kansrijke regio's (b.v. Hannover) is de vervoerwaarde ook ruimtelijk nabij (<25km) geconcentreerd rondom de inland rail terminal. Reducties van railkosten treden op door vergroting van de treinlading (10%-20%) of door modal shift (0% tot meer dan 30%). Nieuwe inzichten uit de analyse waren dat rail verbindingen tussen Rotterdam en Antwerpen vanwege concurrentie door de binnenvaart moeilijk te exploiteren zijn, net als railverbindingen tussen Rotterdam en Midden-Engeland vanwege shortsea. Een verbinding Midden-Engeland via Rotterdam naar Polen moet dus over het kanaal van shortsea gebruik maken. In zeehavenregio's is het zeer nuttig dat een rail hub ook toegankelijk is per binnenschip zodat het netwerk naast rail- ook binnenvaart-spaken heeft waardoor de netwerkkosten gereduceerd kunnen worden.

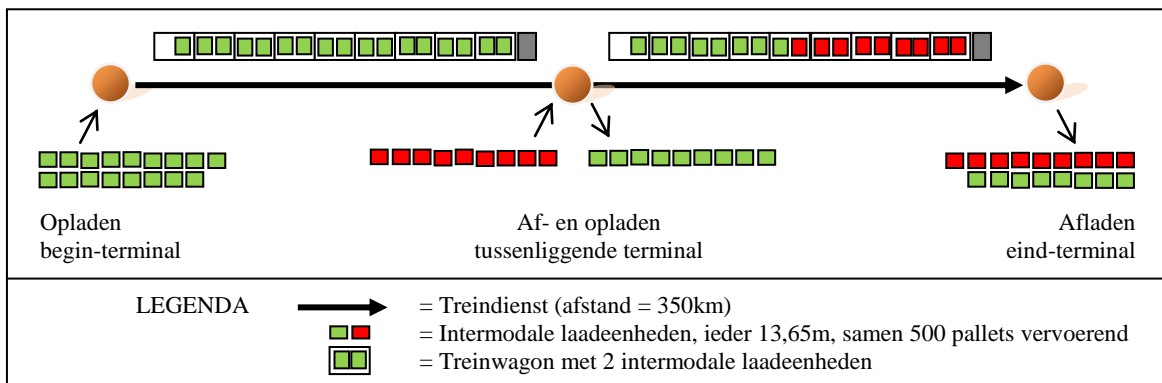
Spectrum: De markt van LDHV-goederen is geraamd op 12% van alle goederenstromen in Europa, als het lukt om concurrerende diensten al aan te bieden voor afstanden vanaf 200km, en anders minder dan 12%. Van deze markt gaat reeds ongeveer de helft per spoor waarvan veel in Duitsland. De relaties met de grootste weg-LDHV-potentialen liggen derhalve buiten Duitsland.

De inpasbaarheid en capaciteitsvoordelen van SPECTRUM-treinpaden zijn d.m.v. tijd-ruimte-analyses bevestigd, waarbij voor TGVs hiervoor van korte afstanden tussen stations is uitgegaan. De deur-tot-deur kosten zijn volgens het project (Schoemaker et al., 2012), lager dan bij wegvervoer met twee chauffeurs per truck, de deur-tot-deur tijd is lager dan bij wegvervoer met 1 chauffeur per truck.

De openbaar toegankelijke kostenberekeningen van het project bevestigen de kostenconclusie niet expliciet. Het project (Sauerbrey et al.; 2015) heeft voor de situatie in figuur 4 (350km rail, stop bij tussenliggende lijn-terminal, heen en terug [omloop] in 1 dag; 300 treinomlopen per jaar;

wagonlengte = ca. 290m; trein bestaat uit 9 dubbelwagons [= 80'-wagons], ieder beladen met 2 * 13,65m-wissellaadbakken behalve dat gemiddeld de helft van 1 dubbelwagon onbeladen blijft om ruimte te geven voor volumefluctuaties; gezien het op- en afladen op een tussenliggende terminal worden in totaal [17+9=] 26 laadeenheden per treindienst vervoerd) de treinkosten van drie alternatieve Spectrum productiemodellen bekeken: 1) met MetroCargo-terminal, met 2) CargoMover terminals waarbij treinen en vrachtauto's voor horizontale overslag van frames e.d. zijn voorzien (samen zoals Innovatrein) en met 3) CargoSprinter treinen die dezelfde overslagvoorzieningen hebben als in 2. Model 2 levert de laagste kosten op: €11 per overslag en omgerekend €13,65 per trein-km. Deze kosten worden niet vergeleken met unimodaal wegvervoer. Doet men dit wel, kunnen deze treinen (en rekening houdend met een gemiddelde bezetting van 17 in plaats van 26 laadeenheden) alleen concurrerend zijn als de vrachtwagen geen of gemiddeld weinig retourlading heeft.

Figuur 4 Rekenvoorbeeld SPECTRUM treindienst
(bron gegevens: Sauerbrey et al., 2015; tekening door auteur)



5.1.2 Indicatieve kostenvergelijking van de projecten in hoofdlijnen

In deze paragraaf worden indicaties gegeven van de kostenreducties die de alternatieve innovatieconcepten te weeg brengen. In de vergelijking wordt uitgegaan van vier treinafstanden (300, 600, 900 en 1200km) omdat de meerwaarde van innovaties zich soms alleen bij bepaalde afstanden voordoet. In de berekeningen is geabstraheerd van enkele specialiteiten van de concepten zoals verschil in wagontypes. Wel wordt het effect van dergelijke bijzonderheden besproken. Er is gerekend met 60'-wagons en de veronderstelling dat deze met een TEU-factor van 1,5 efficiënt te beladen zijn. Zo'n maximale bezetting wordt in de berekeningen voor alle vergeleken concepten toegepast, is ook in principe het doel van procesontwerpen (Sondermann et al., 2013), maar komt in praktijk zelden zo ideaaltypisch voor.

Wat betreft kostenreductie, hebben de alternatieve concepten verschillende aangrijpingspunten (figuur 5). Het gaat om de reductie van de kosten voor locs, arbeid, elektriciteit, infrastructuur en/of

wagons, waarbij de oorzaak per concept scheidt: schaalvergroting, omloopversnelling, minder windweerstand. Alle concepten mikken op kostenreductie door het vermijden van lokale tractie.

Figuur 5 Aangrijpingspunten voor kostenreductie van de alternatieve concepten
(bron: auteur)

	Marathon	Spider, Twin hub	Spectrum
Tijd periodieke omloop trein(en)			
└─ Tijd operationele omloop trein(en)			
└─┬─ Tijd treinoperaties op links			Reductie
└─┬─┬─ Snelheid			Verhoging
└─┬─┬─┬─ Tijd treinoperaties knooppunten	*	*	*
Kosten trein(en) per laadeenheid			
Loc		Reductie **	Reductie ***
Arbeid	Reductie **	Reductie **	Reductie ***
Elektriciteit	Reductie ****		
Infrastructuur	Reductie **	Reductie **	
Wagons			Reductie ***
Lokale trein	Afschaf *****	Afschaf *****	Afschaf *****

* = Minimalisatie door goed ontworpen knooppuntoperaties.

** = Door grotere treinlading.

*** = Door verhoging omloopsnelheid.

**** = Door minder windweerstand per laadeenheid.

***** = Door bij de terminal ad momentum binnen te rijden, door gebruik hybride locs of door andere innovaties.

Spider en **Twin hub** richten zich op een klassieke uitdaging van het netwerk bundelingsontwerp, namelijk de schaalgrootte van treinen te maximaleren; treinen die van de huidige link-infrastructuur gebruik kunnen maken. In praktijk gaat het onder meer om de treinen te verlengen en hierbij de treinlading te vergroten van (gezamenlijke wagonlengte =) 400m/500m naar 600m/700m waardoor de treinkosten per laadeenheid of ton goed afnemen (figuur 6): het uitsmeren van de kosten voor loc, arbeid en infrastructuur over meer laadeenheden levert ongeveer 35% reductie op (van 400m naar 700m; treinbelading is 80%) of ruim 20% (van 500m naar 700m) of 10% (van 600 naar 700m). Voor zover de voor het eerst een treinverbinding mogelijk maakt, kan de modal shift of de verkorting van afstanden in het voor- en natransport (van en naar andere terminals) tot nog hogere kostenreducties leiden.

In **Marathon** worden kostenreducties behaald door het uitsparen van arbeids- en infrastructuurkosten van één van de gekoppelde treinen. Dit leidt tot een kostenreductie van ongeveer

20% voor de helft van de treinen (figuur 7), dus gemiddeld 10%. Hierin zijn voordelen in de vorm van energiebesparing zoals dit in praktijk is gemeten, nog niet meegenomen.

Figuur 6 Kostenstructuur en potentiële reductie bij vergroting van de treinlading (bron: auteur)

Input			Kostenresultaat					
Aantal parallelle treinen totaal	1	aantal treinen	600km	600km	600km	600km	600km	
Aantal parallelle treinen naast de 1e	0	aantal treinen	80%	80%	80%	80%	80%	
Aantal omlopen niet-1e trein	0	omlopen door niet-1e trein	300m	400m	500m	600m	700m	
Nodig aantal omlopen/week vanwege F	3	omlopen/week						
Frequentie (F)	3	diensten/week	Kosten per LU (euro)					
Aantal omlopen per jaar	126	RTs	Loc	119	89	71	59	51
Aantal productieve weken per jaar	42	weken/jaar	Arbeid	21	16	13	11	9
Werkelijk aantal omlopen per week	3	omlopen/week	Electriciteit	28	27	27	27	26
Maximaal aantal periodieke omlopen	3,5	omlopen/week	Infrastructuur	63	47	38	31	27
Tijd periodieke omloop	48	uur, ofwel	Wagens	42	42	42	42	42
Operationele tijd omloop	39,0	uur	Lokale trein	33	25	20	17	14
Operationele tijd halve omloop	19,5	uur	Monitoring en overhead	61	49	42	37	34
Tijd terminals per halve omloop	12	uur (3 terminals per halve oml.)	TOTAAL	367	295	253	224	203
Tijd per terminal	4	uur per terminal	Kosten per LU-km (euro)	0,61	0,49	0,42	0,37	0,34
Link tijd per halve omloop	7,5	uur	Kosten per trein-km (euro)	14,6	15,7	16,8	17,8	18,9
Snelheid	80	km/u						
	<i>Cursief-vet</i> = gekozen input							

Spectrum treinen kunnen ongestoord(er) over dag rijden. Bij huidige dag A/B-verbindingen neemt hierdoor de gemiddelde snelheid tussen bezochte terminals toe van b.v. 40km/h (zoals tussen Rotterdam of Antwerpen en Noord-Italië) naar b.v. 80km/u. Dit leidt tot kostenverlaging, ondanks het hogere energieverbruik ten gevolge van de hogere topsnelheid en ondanks de hogere aanschafkosten van wagons. In figuur 7 zijn de hogere elektriciteitskosten meegenomen, de hogere wagonkosten niet. Het laatst zou de treinkosten met ongeveer 3% doen toenemen. De kostenbesparing is per saldo nog steeds substantieel. De verlaging bedraagt bij een 350m lange trein en voor een treinafstand van 900km tot 1200km ongeveer 20% tot 30%. Dit resultaat geeft aan hoe belangrijk verhoging van de omloopproductiviteit is. Hiermee kunnen kostenreducties worden behaald die qua orde van grootte vergelijkbaar zijn met schaalvergroting. Bij kortere afstanden waarin alleen in de nacht wordt gereden, treden geen kostenverlagingen op omdat de omlooptijd niet verkort wordt. Hier doet zich dan het nadeel van de kleine treinlading voor die hoge treinkosten per laadeenheid impliceert.

De genoemde kostenreducties van sommige korte en snelle treinen wijken af van de algemene perceptie over dit soort van treinen. Een voorbeeld is het Nederlandse project *Raildistributie getoetst* (RUPS en NEA, 2003) waarin snelle, korte en hoogfrequente treinen werden onderzocht. Daarin werd kostenverhoging verwacht. Tevens werd in dit project op grond van een niet representatieve enquête geconcludeerd dat de bereidheid van verladers en andere klanten met hoogwaardige om voor extra kwaliteit meer te betalen zeer beperkt is. De berekeningen van deze paragraaf geven aan dat kwaliteitsverbetering door de verkorting van de transporttijd ook tot kostenverlaging kan leiden waardoor de willingness-to-pay geen onderwerp meer hoeft te zijn.

Figuur 7 Kostenreductie door de alternatieve innovatieconcepten (bron: auteur)

	Aantal trein sets	Afstand (km)	F	V	A + I	Gemiddelde kosten *		Kostenverlaging	
						per LE (euro)	per LE-km (euro)	Spectrum en Marathon (index)	700m in plaats van 350m (index)
Treinlengte = 350m									
	1	300	3	80	ja	210	0,92		
	1	600	3	80	ja	252	0,55		
	2	900	3	40	ja	437	0,63		
Spectrum	1	900	3	80	ja	294	0,43	67	
	2	1200	3	40	ja	479	0,52		
Spectrum	1	1200	3	80	ja	336	0,37	70	
	1	300	6	80	ja	138	0,61		
	2 gelijke **	600	6	80	ja	252	0,55		
	3 gelijke **	900	6	40	ja	366	0,53		
Spectrum	2 gelijke **	900	6	80	ja	294	0,43	80	
	3 gelijke **	1200	6	40	ja	408	0,44		
Spectrum	2 gelijke **	1200	6	80	ja	336	0,37	82	
Treinlengte = 700m									
	1	300	3	80	ja	168	0,56		61
Marathon	1	300	3	80	half	155	0,52	92	
	1	600	3	80	ja	203	0,34		61
Marathon	1	600	3	80	half	181	0,30	89	
	2	900	3	40	ja	354	0,39		62
Marathon	2	900	3	40	half	319	0,35	90	
	2	1200	3	40	ja	388	0,32		62
Marathon	2	1200	3	40	half	345	0,29	89	
	1	300	6	80	ja	110	0,37		60
Marathon	1	300	6	80	half	99	0,33	90	
	2 gelijke **	600	6	80	ja	203	0,34		61
Marathon	2 gelijke **	600	6	80	half	181	0,30	89	
	3 gelijke **	900	6	40	ja	295	0,33		62
Marathon	3 gelijke **	900	6	40	half	263	0,29	89	
	3 gelijke **	1200	6	40	ja	330	0,27		62
Marathon	3 gelijke **	1200	6	40	half	289	0,24	88	
LE = laadeenheid, F = frequentie (diensten per week en richting), V = snelheid (km/h), A = arbeid, I = infrastructuur.									
* Van 1e en eventueel nodige 2e en 3e trein set.									
** In duur van de omloop.									

Alle bekeken railinnovaties richten zich ook op verbetering van handling en treinprocessen op (tussenuitgaande) rail terminals waaronder de veelal nodige wisseling van locs bij de terminal omdat elektrische locs in de overslagzone die vrij is van bovenleidingen, niet zomaar kunnen rijden. Als dit kan worden voorkomen door een van de eerder genoemde oplossingen, kunnen de spoorkosten worden gereduceerd. Het uitsparen van de veronderstelde 800 euro lokale tractie vermindert de spoorkosten per laadeenheid bij een afstand van 600km met 6 tot 8% (afhankelijk van de treinlengte) van de treinkosten. Bij kortere afstanden is dit meer, bij langere minder (bij 1200km 3%).

Figuur 7 bevat in de meest rechter kolom nog de kostenreducties (index) die zouden ontstaan door de treinlengte te verdubbelen van 350m naar 700m. De besparingen zijn tot 40% (index 60). Deze omvang van schaalvergroting zal zich in praktijk zo gauw niet voordoen. Realistischer zijn de boven genoemde schaalvergrotingen met kostenreducties van 10-20%.

Alle railverbindingen in figuur 7 van 600km of langer zijn – op deur-tot-deur basis uiteraard – concurrerend met unimodaal wegvervoer. Bij 300km is dit in meer dan de helft van de verbindingen het geval, mede afhankelijk van de kosten van terminals, voor- en natransport, en unimodaal wegvervoer: er is gerekend met 75-150 euro per dienst voor voor- en natransport (dit 2 keer per keten), 30-50 euro per overslag (dit 2 keer per keten in Marathon en Spectrum, en tot 3 keer in Spider en Twin hub), 1,05 euro per km voor unimodaal wegvervoer en een bezetting van de unimodale vrachtwagens in de retourdienst van 0 (alleen bij korte afstanden) tot 85% (alle afstanden).

6 Conclusies

In deze paper worden drie soorten innovatieve railconcepten voor intermodaal vervoer bekeken, namelijk 1) "verdubbeling" van de treinlengte door koppeling van directe treinen in een vorknetwerk (Marathon), 2) vergroting van de transportschaal voor kleinere (LTL-)stromen tot een hele treinlengte door middel van HS-bundeling (Spider en Twin hub netwerk), en 3) verhoging van de transportsnelheid en omloopproductiviteit van treinen, die omwille van de transportsnelheid kort zijn (Spectrum). De concepten pretenderen allemaal dat ze de directe, kwaliteitsgerelateerde en maatschappelijke transportkosten reduceren. De hoofdconclusies van de vergelijking zijn als volgt.

- Marathon leidt t.o.v. de enkelvoudige trein tot reductie van de treinkosten van ca. 10% (inclusief infrastructuurvoordeel; samen minder dan het project aangeeft) plus energiebesparing plus minder ruimtebeslag t.g.v. een betere benutting van treinpaden en dus spoorcapaciteit;
- Spider en Twin hub leiden t.o.v. kortere treinen tot een reductie van de treinkosten van 10-20% (soms meer) en tot een betere benutting van treinpaden en dus minder ruimtebeslag. Daarnaast of in plaats daarvan kunnen de transportkosten van de verlader dalen door frequentieverhoging. Voor vele transportrelaties is het meest belangrijke resultaat dat men door de bundeling überhaupt een treinverbinding kan aanbieden. Bij langere afstanden leidt dit t.g.v. modal shift of verkorting van de voor- en natransportafstanden tot nog grotere reducties van de directe kosten;
- Bij Spectrum kunnen de treinkosten op dag A/C- of langere verbindingen, ondanks de schaalverkleining en rekening houdend met duurdere wagons, dalen met ongeveer 20-30%. Een verdubbeling van de treinlengte naar 700m zou echter nog grotere kostendalingen opleveren, namelijk ongeveer 40%. Maar verdubbeling is vanwege de beperkte ladingomvang vaak niet mogelijk.

Marathon maakt concurrerende treindiensten nog goedkoper. Spider en Twin hub network maken spoordiensten concurrerend of nog concurrerder. Spectrum-treinen kunnen op dag A-C- of langere afstanden concurrerend zijn. Op afstanden die in 1 nacht gereden kunnen worden zijn de Spectrum-treinen relatief duur en nauwelijks of hooguit concurrerend als de unimodale vrachtauto's geen retourlading hebben.

In alle gevallen is het belangrijk dat de prestatieverbeteringen op de verbindingen niet ondermijnd worden door nadelen op de knooppunten. Een belangrijk onderdeel is hierbij het vermijden van lokale tractie. Die impliceert 6% tot 8% lagere railkosten, bij korte afstanden meer.

Ieder van deze innovaties vergt voorafgaande inspanningen. In Marathon is dit de invoering van hard- en software die het samenspel van master en slave locomotieven bewerkstelligt, plus investering in lange sporen ter (ont)koppeling van treinen waar dit gebeurt plus nader te bepalen lokale aanpassingen van de treinbeveiliging. De voordelen van Spider en Marathon worden beter ontplooid door de – via nieuwbouw of retrofit – invoering van meer werkelijke hub terminals. Bij Spectrum moet eerst geïnvesteerd worden in wagons die geschikt zijn voor hogere snelheden. Een nadeel van Spectrum is het per saldo negatieve effect van capaciteitsbeslag ten gevolge korte treinen en ondanks de betere inpassing van treinpaden in tijd-ruimte-diagrammen. Als verdere ontwikkeling valt hier een Spectrum-trein met Marathon-kenmerken als verdere innovatie te overwegen waarbij voor de lange afstand twee korte treinen in een master-slave-regime aan elkaar worden gekoppeld. Bij alle drie concepten is bevordering van de innovatie door priviligerende toewijzing van treinpaden nodig. Het moet makkelijker worden om treinpaden te verwerven die tijd-efficiënte vork-netwerken (Marathon) of HS-netwerken (Spider, Twin hub, Spectrum) of lijn-netwerken (Spectrum) opleveren. De priviligering geldt t.o.v. directe intermodale treinen en t.o.v. personentreinen.

Bronnen

- ALICE, 2013, **Corridors, hubs and synchronodality. Research and innovation roadmaps.** <http://www.etp-logistics.eu>. Website bezocht in september 2015.
- Briginshaw, D., 2014, French run Europe's longest freight train, in: **International Railway Journal**, 20 Januari. www.railjournal.com. Website bezocht in juli 2016.
- CER, 2013, **Rail Freight Status Report 2013; rail freight after a decade of EU rail policy**, Brussel.
- Castagnetti, F., 2013, **TIGER demo. The rail based solutions for industrializing the maritime traffic via dry ports. Final demonstrators report.** Uitgegeven door NEWOPERA, Brussel, www.newopera.org. Website bezocht in juni 2016.
- Cardebring, P. W., Fiedler, R., Reynauld, C., & Weaver, P., 2000, **Summary of the IQ project. Analysing intermodal quality; a key step towards enhancing intermodal performance and market share in Europe.** Hamburg and Paris: TFK and Inrets.
- Deketele L., Coelho P., Grosso M., Lynce A-R., 2008, Moving From 80% Road To 80% Non Road Modal Shift. In: **A Fast Moving Consumer Goods Supply Chain**, TransportNET project.
- Franke, K-P., 2000, **Boosting efficiency of split container terminals by innovative technology. Memorandum**, Noell Crane Systems GmbH, Würzburg.
- Gaidzik, M., Sustrate, Riebe, Hunefeldt, Muller, Beisler, Voges, 1994. **Analyse und Bewertung der mittel- bis langfristigen Perspektiven einer Schienenvernetzung von KVUmschlagbahnhöfen unter Berücksichtigung neuer Ansätze für die**

Produktionsgestaltung im Rahmen eines zentralen Hub-and-Spoke-Systems für den Kombinierten Verkehr. Endbericht. HaCon, Deutsche Bahn, DUSS, IVE. In opdracht van: Der Bundesminister für Verkehr, FE-Vorhaben 90433/94, Bonn.

- Jackson, R., T. Zunder, E. Matsika (UNEW) 2015, **SPECTRUM Final report, D4.5 Final**, met bijdragen van A. Burgess (PANTEIA), G. Siciliano (Gruppo CLAS), Universiteit Huddersfield en TNO, Newcastle, Huddersfield en Delft.
- Kombiconsult, Intermodality, Planco Consulting & Gruppo Clas, 2015. **Analysis of the EU combined transport – final report** (Contract N° FV355/2012/MOVE/D1/ETU/SI2.659386). Frankfurt am Main. <http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/studies/doc/2015-01-freight-logistics-lot2-combined-transport.pdf>. Website bezocht in september 2015.
- Kreuzberger, E.D., 2008a, Distance and time in intermodal goods transport networks in Europe: a generic approach, in: **Transportation research part A**, 42, blz. 973-993.
- Kreuzberger, E.D., 2008b, **The Innovation of Intermodal Rail Freight Bundling Networks in Europe. Concepts, Developments, Performances.** TRAIL Thesis Series nr. T2008/16, Delft.
- Kreuzberger, E.D, Konings, R., Sebastiaan Meijer, Cees Witteveen, Martijn Meijers (Delft University of Technology), Ethem Pekin, Cathy Macharis (Free University of Brussels), Jan Kiel, Yuko Kawabata (NEA/Panteia) and Wouter Vos (Zeeland Seaports), 2014, **Identification of promising Twin Hub networks. Report of Work Package 1 of the Intermodal rail freight Twin hub Network Northwest Europe – project.** Co-financiering door INTERREG NWE IVb, Delft.
- Kreuzberger, E.D., & R. Konings, 2016, The challenge of appropriate hub terminal and hub-and-spoke network development for seaports and intermodal rail transport in Europe, in: **Research in Transportation Business & Management**, nr. 19, blz. 84–98
- KV-Technologieplatform 2000+ (Deutsche Bahn, Kombiverkehr, Transfracht, DUSS), 1995, **KV-Technologieplatform 2000+. Ein Innovationskonzept für den Kombinierten Verkehr.** Mede gefinancierd door: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Frankfurt en Bodenheim.
- RUPS and NEA, 2003, **Raildistributie getoets (RaGe)**, in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV), Rotterdam.
- Schoemaker, J., A. Burgess, N. Dasburg, S. Newton, Y. Kawabata, I. Buscher, R. Versteegh, R. de Leeuw van Weenen (allen PANTEIA), M. Chen, M. Zhang, H. Quak, D.v.d.Ree, J. Ton, H. Vrenken, N. Croes (allen TNO), T. Zunder, R. Jackson, C. Woroniuk, D. Islam (alleen UNEW), R. Frindik, T. Platz (beiden Marlo a.s.), C. Vaghi, G. Siciliano, F. Barontini (allen Gruppo Clas), S. Mahler, U. Sauerbrey (beiden Railistics), 2012, **SPECTRUM - Logistics and market analysis - Deliverable D1.3, Final**, Brussel en Newcastle.
- Sauerbrey, U., en Spectrum project, 2015, **Innovation and Opportunities for Rail Freight in the 21st Century: SPECTRUM-LCC assessment of concepts.** Railistics, Powerpoint presentation. Wiesbaden and Newcastle. Spectrum website bezocht in juli 2016.
- Sondermann, K.-U., 2013, **Efficient intermodal wagons, Good practice no. 12**, , PP presentation in het kader van het Europese project COSMOS, Kombiconsult, Frankfurt/M, <http://www.intermodal-cosmos.eu>. Website bezocht in juli 2016.
- Toubol, A., en F. Castagnetti, 2014a, Marathon project for long trains with distributed traction, **TRA 2014 conferentie papers**, NEWOPERA, Brussel en Paris.
- Toubol, A., en F. Castagnetti (redactie), 2014b, **The MARATHON 1500m Train Opening up new horizons in Rail Freight Transport in Europe. The MARATHON handbook.** The project co-founded by the European Commission through FP7. NEWOPERA Aisbl, Brussel.
- Woodburn, A., 2011, An investigation of Container Train Service Provision and Load Factors in Great Britain. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, nr. 11(2), blz. 147–165.

Met dank aan Rob Konings (TUD-Bk-OTB, Delft) en Udo Sauerbrey (Railistics, Wiesbaden) voor het kritisch meelesen van de paper respectievelijk de Spectrum-delen van de paper.