

# VU Research Portal

## Optimization of hinterland container transportation and terminal operations

Zweers, B.G.

2021

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Zweers, B. G. (2021). *Optimization of hinterland container transportation and terminal operations*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

## Samenvatting

---

Het vervoer van goederen in containers is pas in de jaren zestig van de vorige eeuw op gang gekomen, maar sindsdien is het aantal containers dat wereldwijd wordt vervoerd enorm gegroeid. Om dit stijgende aantal containers te vervoeren worden schepen steeds groter: de grootste schepen ter wereld hebben vandaag de dag een capaciteit van meer dan 20,000 TEU. TEU is een standaardmaat voor de lengte van een container en de meerderheid van de containers meet 1 of 2 TEU. De stijging van het aantal containers dat wordt vervoerd, heeft tot gevolg dat een groot aantal containers wordt overgeslagen in een zeehaven. Zo werden er in 2019 bijna 25.000 containers per dag geladen en gelost in de haven van Rotterdam. Deze aantallen zijn alleen mogelijk als de containers efficiënt worden aangeleverd en opgehaald vanuit het achterland. Dit verdere vervoer van containers is de focus van dit proefschrift.

Er zijn drie transportmiddelen beschikbaar voor het vervoer van containers van en naar het achterland: treinen, binnenvaartschepen en vrachtwagens. Als containers met een vrachtwagen worden vervoerd, kunnen ze direct van de zeehaven naar hun eindbestemming worden gebracht. Voor de andere transportmiddelen geldt dat de meeste bedrijven geen spoor- of waterwegverbinding hebben. Daarom worden binnenlandse containerterminals gebruikt voor het vervoer van containers via schepen en treinen. De binnenvaartschepen en treinen brengen containers vanuit de zeehaven naar de binnenlandse terminal en op deze terminals worden de containers tijdelijk opgeslagen. Daarna worden ze met een vrachtwagen naar hun eindbestemming vervoerd. Het gebruik van treinen en binnenvaartschepen heeft veel voordelen ten opzichte van vervoer met vrachtwagens. Allereerst is het goedkoper en ten tweede resulteert het in minder CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een laatste voordeel is dat de capaciteit op vaar- en spoorwegen vaak minder schaars is dan op autowegen. Hierdoor kan een afname van het gebruik van vrachtwagens leiden tot minder files.

Om de voordelen van vervoer via binnenvaartschepen en treinen ten volle te benutten zijn er verschillende operationele planningsvraagstukken die moeten worden opgelost. De problemen die bestudeerd worden in dit proefschrift zijn gebaseerd op vragen die rijzen bij een binnenlandse containerterminal in de haven van Amsterdam. De problemen spelen echter niet alleen bij deze terminal en de oplossingsmethoden zijn algemeen toepasbaar. Voor een effectief gebruik van binnenvaartschepen is het ten eerste noodzakelijk dat de containers op het

'best mogelijke schip' worden vervoerd. Om te bepalen wat het beste schip is, worden niet alleen de kosten van transport meegenomen, maar ook andere zaken zoals de kans op vertraging of de mogelijkheid dat een schip niet kan worden gelost. Dit type probleem wordt behandeld in de hoofdstukken 2, 3 en 4. Een efficiënte overslag van containers op de terminal zelf is een tweede aspect dat belangrijk is om meer containers per vaar- en spoorwegen te kunnen vervoeren. Idealiter wordt een container zo min mogelijk verplaatst en indien toch noodzakelijk, wordt er gestreefd na een verplaatsing op een rustig moment. In de hoofdstukken 5, 6 en 7 wordt dit soort problemen opgelost.

In dit proefschrift worden deze twee type problemen bestudeerd vanuit het perspectief van een binnenlandse containerterminal. Voor beide problemen wordt dezelfde aanpak gebruikt: allereerst wordt het probleem als een wiskundig optimalisatieprobleem gemodelleerd. Vervolgens wordt een exact algoritme gegeven dat de optimale oplossing voor dit probleem uitrekent. Het bepalen van de optimale oplossing voor deze problemen duurt ook bij het gebruik van dit algoritme vaak te lang om praktisch toepasbaar te zijn. Vandaar dat ook een heuristiek wordt ontwikkeld die snel een goede oplossing geeft, die niet per se optimaal hoeft te zijn.

In het hoofdstuk 2 wordt voor een groep containers, die op meerdere terminals in dezelfde zeehaven staan, bepaald hoe ze het beste kunnen worden vervoerd. Het oogmerk is om zoveel mogelijk containers per binnenvaartschip te vervoeren. Tegelijkertijd mag een schip niet te veel terminals bezoeken, omdat dit de kans vergroot dat het schip vertraging oploopt. Een ander belangrijk aspect dat wordt meegenomen zijn de opslagkosten bij zowel de zeeterminal als de binnenlandse terminal. Dit probleem wordt gemodelleerd als een geheeltallig lineair optimalisatieprobleem. Indien standaard oplossingsmethoden worden gebruikt voor deze formulering, dan wordt de optimale oplossing verkregen. Het nadeel van deze methode is dat de rekentijd een paar uur of meer is voor grotere probleeminstaties. Deze formulering kan ook met een heuristiek in twee stappen worden opgelost. In de eerste stap wordt bepaald welke terminals in de zeehaven worden bezocht en in de tweede welke containers op welk schip gaan. Voor deze methode is de rekentijd slechts enkele seconden en bovendien zijn de oplossingen bijna gelijk aan de optimale oplossing. Ten slotte is ook een algoritme ontwikkeld dat het gedrag van een menselijke planner simuleert en daarmee wordt aangetoond dat er veel potentie zit in het implementeren van de andere twee methoden.

Het probleem dat wordt behandeld in hoofdstuk 3 lijkt erg op dat van hoofdstuk 2, maar er zijn twee grote verschillen. Als eerste moeten containers nu zowel van als naar de zeehaven worden gebracht. Ten tweede is het aantal containers dat kan worden geladen en gelost bij een zeeterminal nog onbekend als de planning moet worden gemaakt. Hierdoor kan het zijn dat er meer con-

tainers op een schip staan dan gelost kunnen worden bij een terminal. Het aantal containers dat bij een enkele terminal geladen en gelost kan worden, is gemodelleerd als een kansvariabele en daarmee wordt een stochastisch probleem met *recourse* verkregen. Dit probleem wordt vervolgens opgelost met een techniek die *Sample Average Approximation* wordt genoemd. De oplossing van deze methode convergeert naar de optimale oplossing als genoeg trekkingen van de stochastische variabelen worden gebruikt. Het is ook mogelijk om snellere oplossingen te genereren. Hiervoor wordt het oorspronkelijke probleem zodanig gesimplificeerd dat de optimale oplossing bepaald kan worden met standaard technieken uit stochastisch programmeren. Deze optimale oplossing van het versimpelde probleem kan vervolgens worden gebruikt om de stochastische variabele te vervangen door een deterministische waarde. Deze heuristiek die gebaseerd is op stochastisch programmeren werkt beter dan bestaande, vergelijkbare technieken voor het vervangen van een stochastische variabele door een deterministische waarde.

In hoofdstuk 4 wordt niet het beste transportplan voor een groep containers bepaald, maar voor één enkele container. Deze container moet worden vervoerd door een netwerk waarin de reistijden stochastisch zijn. Bovendien bestaat de kans dat een gepland vertrek wordt gemist, omdat de route overboekt is. Het doel is om de goedkoopste route te vinden waarbij de container vóór een zekere deadline arriveert bij zijn eindbestemming. Vanwege de stochasticiteit heeft de container voor elke route een bepaalde kans op een te late aankomst. Aangezien het moeilijk van tevoren te bepalen is welke kans men acceptabel vindt, worden Pareto-optimale oplossingen gegeven. In deze oplossingen worden de kosten van een route afgezet tegen de kans op een aankomst na de deadline. Naast een optimaal algoritme dat is gebaseerd op dynamisch programmeren, wordt ook een heuristiek gegeven waarin alle stochastische variabelen worden vervangen door een risicomaat. Deze risicomaat is een deterministische waarde die vervolgens in een geheeltallig lineair optimalisatieprobleem kan worden gebruikt. Door het variëren van het risico in de risicomaat kunnen ook Pareto-optimale oplossingen worden gevonden.

In hoofdstuk 5 verleggen we onze focus naar het stapelen van containers op een terminal. Het gebeurt regelmatig dat als een container de terminal moet verlaten er andere containers bovenop hem staan. Deze containers moeten dan naar een andere plek worden verplaatst, terwijl een vrachtwagen staat te wachten op de container die hij komt ophalen. Deze verplaatsingen worden *relocation moves* genoemd. Een alternatief is om de containers al in de juiste volgorde klaar te zetten op een rustig moment, wat ook bekend staat als *pre-marshalling moves*. Het probleem hiermee is dat veel meer verplaatsingen nodig zijn dan voor de *relocation moves*. In dit hoofdstuk wordt een nieuw manier van verplaatsing geïntroduceerd, namelijk de *pre-processing move*. Deze verplaat-

singen worden uitgevoerd als het rustig is op de terminal, maar in tegenstelling tot de *pre-marshalling moves* hoeven de containers niet volledig in de juiste volgorde te staan.

In het probleem dat wordt bestudeerd in hoofdstuk 6 wordt de gewogen som van het aantal *pre-processing* en *relocation moves* geminimaliseerd. Voor dit probleem is een heuristiek ontwikkeld waarin containers die als laatste de terminal verlaten, als eerste op de juiste plek worden gezet. Om te weten of deze verplaatsing een verbetering oplevert, moet ook het verwachte aantal *relocation moves* worden bepaald. Een methode die op basis van enkele regels hiervoor een schatting maakt wordt gegeven in dit hoofdstuk. De optimale oplossing wordt bepaald met een *branch-and-bound* algoritme, maar voor probleeminstanties met veel containers kost deze methode vaak meerdere uren aan rekentijd.

In hoofdstuk 7 is het aantal *pre-processing moves* dat kan worden uitgevoerd beperkt. Het optimale algoritme van het vorige hoofdstuk kan met een paar aanpassingen ook worden gebruikt voor dit probleem. In dit hoofdstuk wordt de *branch-and-bound* methode ook gebruikt in een heuristiek. Hierin wordt het aantal resterende *relocation moves* niet exact berekend maar geschat. Een andere heuristiek die wordt gepresenteerd in dit hoofdstuk, probeert de bovenste container van elke stapel in de juiste positie te zetten. Dit kan op acht verschillende manieren en de methode die de grootste daling in het aantal *relocation moves* oplevert, wordt uitgevoerd. Voor het probleem dat wordt behandeld in hoofdstuk 6 is aangenomen dat de kraan niet beweegt tijdens het uitvoeren van de *pre-processing moves*. In hoofdstuk 7 wordt deze aanname los gelaten. De oplossing voor het eerder bestudeerde probleem wordt gebruikt om te bepalen hoeveel verplaatsingen in welk deel van de terminal moeten worden uitgevoerd.

Ten slotte bekijken we in hoofdstuk 8 problemen met een andere blik. Waar in voorgaande hoofdstukken numerieke experimenten zijn gebruikt om de kwaliteit van de heuristieken te evalueren, geven we in dit hoofdstuk algoritmes waarvoor bewezen is dat hun oplossing zich binnen een bepaalde marge van de optimale oplossing bevindt. Deze zogeheten *approximation algorithms* worden ontwikkeld voor optimalisatieproblemen met twee niveaus van capaciteit. Bekende problemen met een enkel type capaciteit zijn het *Multiple Knapsack Problem*, het *Maximum Coverage Problem with Knapsack Constraint* en het *Capacitated Facility Location Problem*. Deze problemen worden uitgebreid door *knapsacks* onder te verdelen in clusters, die elk ook een eigen capaciteit hebben. Met behulp van een beslissingsvariabele die bepaalt hoeveel capaciteit van het cluster naar ondergelegen knapsacks gaat, kunnen bestaande *approximation algorithms* gebaseerd op lineair programmeren worden uitgebreid. Het resultaat is dat voor bepaalde problemen de marge tussen de optimale oplossing en de oplossing gegeven door het *approximation algorithm* gelijk blijft als de clusters worden toegevoegd en voor andere wordt de marge slechts een fractie groter.