

Niet zelden is een artikel de bron voor een Olympiade-opdracht. Zoals bijvoorbeeld dit artikel van **Iris Vis**; de finaleopdracht van de vorige editie van de Olympiade is hieruit ontstaan. Hoe optimaliseer je het uit- en inladen van containers uit schepen en vrachtwagens? Op die vraag geeft dit artikel een antwoord.

## De wiskunde achter de containerlogistiek

### Inleiding

Met een jaarlijkse groei van 10% overvleugelt de containermarkt momenteel de groei van de wereld-economie (Kroon, 2004). In 2006 bedroeg het totaal aantal overgeslagen containers 440 miljoen TEU. Hierbij staat TEU voor Twenty Foot Equivalent Unit, een standaardmaat voor een container met een lengte van 6 meter. Bijna de helft van deze 440 miljoen TEU gaat via de twintig grootste havens in de wereld, waaronder Rotterdam. Van deze twintig havens bevinden zich er tien in Azië. Om deze razendsnelle groei bij te kunnen houden, groeit ook de vloot van containerschepen jaarlijks in aantal en capaciteit. In 2007 voeren 3904 schepen rond met een totale capaciteit van 9,4 miljoen TEU, een capaciteitsverdubbeling sinds 1987. De grootste schepen vervoeren nu tot 12000 TEU (Unctad, 2007).



fig. 1 Het laden/lossen van een containerschip bij Amsterdam Container Terminals (Amsterdam Container Terminals)

De tijdsfactor is van groot belang bij containertransporten. Het overslagproces van containers in een haven wordt gezien als het duurste onderdeel omdat er geen waarde wordt toegevoegd, het schip ligt immers stil. De uitdaging voor havens is dan ook om de aanmeertijd van een schip te minimaliseren om zo rederijen tevreden te stellen en de concurrentie voor te

blijven. Om dit doel te bereiken, moet het terminalmanagement vele keuzes maken bij elk van de logistieke processen die een rol spelen bij het efficiënt lossen en laden van de schepen. Toegepaste wiskunde speelt een belangrijke rol bij het formuleren van tools die dit beslissingsproces ondersteunen. De complexiteit van de logistieke processen zorgt voor een continue uitdaging voor onderzoekers om nieuwe wiskundige technieken te ontwikkelen die razendsnel een goede en liefst optimale oplossing produceren.

### Logistieke processen in een containerterminal

De logistieke processen worden weergegeven in figuur 1 en kunnen als volgt worden beschreven (Vis & De Koster, 2003).

Bij aankomst in de haven meren schepen aan bij een kademuur of in een insteekhaven. Nadat het schip is aangemeerd, lossen bemande kadekranen de containers een voor een uit het ruim en van het dek volgens een losplan. Zoals te zien is in figuur 2 zal de kadekraan een container van het schip lossen en op de grond plaatsen. Een straddle carrier pakt de container vervolgens van de grond op om deze naar het opslaggebied (de stack) te vervoeren.



fig. 2 Kadekraan lost een container die vervolgens door de straddle carrier wordt opgetild (Amsterdam Container Terminals)

Containers worden tijdelijk opgeslagen in een stack, die is opgebouwd uit parallelle rijen waar containers gestapeld worden opgeslagen (Postmus, 2006). Bovenloopkranen of straddle carriers zorgen voor de in- en uitslag van de containers (figuur 3). Een container die van een schip afkomstig is, wordt door de straddle carrier ingeslagen op een willekeurige locatie in de stack. Op het moment dat de vrachtwagen, die de container verder vervoert naar zijn eindbestemming, is gearriveerd, zal de straddle carrier de container uitslaan uit de stack.

Alle genoemde processen kunnen ook in omgekeerde volgorde worden uitgevoerd om exportcontainers op een schip te laden. Om zorg te dragen voor een stabiel schip en een snelle en efficiënte overslag van containers in de volgende haven worden containers volgens een precies laadplan op het schip geplaatst door de kadekranen.

Bij elk van de logistieke processen zijn vele beslissingen die moeten worden genomen. Beslissingen op strategisch niveau worden voor de langere termijn genomen terwijl op operationeel niveau de dagelijkse gang van zaken wordt geregeld. Belangrijke strategische beslissingen voor het transport- en opslagproces zijn de keuze voor het te gebruiken type transport- en opslagvoertuig. Voordat tot aanschaf van een bepaald type voertuig wordt overgegaan, is het belangrijk om de voertuigen uitgebreid met elkaar te vergelijken (Bakker, 2005). Daarna moet dagelijks worden bepaald hoeveel voertuigen moeten worden ingezet om te zorgen dat alle containers van een bepaald schip op tijd worden getransporteerd. Een operationeel beslissingsprobleem in de stack is het plannen van in- en uitslagopdrachten. Voor deze twee beslissingsproblemen bespreken we wiskundige technieken die het beslissingsproces ondersteunen.

**Voorbeeld 1: Benodigd aantal voertuigen voor het transportproces**

Voertuigen zijn verantwoordelijk voor het transport van importcontainers van het schip naar de stack en van exportcontainers van de stack naar het schip. De vraag is nu hoeveel voertuigen minimaal moeten worden ingezet om geen vertragingen bij het laden en lossen van het schip op te lopen. Daarom dient er altijd een voertuig klaar te staan op het moment dat de container door de kraan van het schip is gehaald (zie figuur 2).

Na het afleveren van de ene container kan het lege voertuig naar de plek rijden waar een volgende container beschikbaar komt voor transport. Voor elk tweetal containers kan worden uitgerekend of ze door

hetzelfde voertuig kunnen worden getransporteerd zonder dat er vertragingen in een van de twee opdrachten plaatsvinden. Per definitie mogen twee opdrachten alleen door hetzelfde voertuig worden vervoerd als de eindtijd van de vorige opdracht plus de benodigde rijtijd naar de nieuwe opdracht kleiner is dan de starttijd van de nieuwe opdracht.



fig. 3 Straddle carrier slaat een container in de stack in (Amsterdam Container Terminals)

Op basis van deze gegevens kunnen we een netwerk tekenen. In dit netwerk stelt elk knooppunt een te verplaatsen container voor. Twee knooppunten worden verbonden met een lijn als ze door hetzelfde voertuig mogen worden getransporteerd. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een dergelijk netwerk voor een transportproces met vijf containers. Uit dit netwerk valt op te maken dat containers 1 en 2 niet door hetzelfde voertuig kunnen worden getransporteerd zonder dat opdracht 2 te laat zal starten (ze zijn niet door een lijn verbonden). Nadat container 1 is afgeleverd, is er echter wel voldoende tijd om nog op tijd te starten met het transport van container 3.

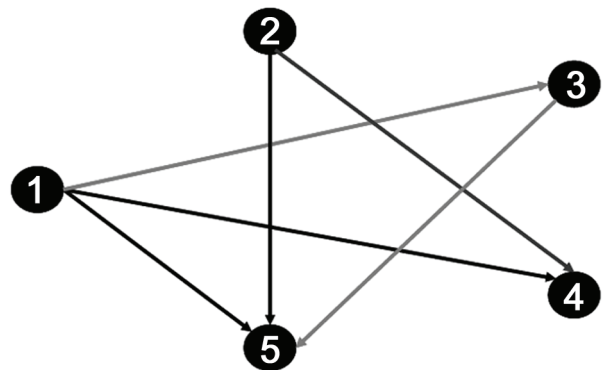


fig. 4 Voorbeeld van een netwerk voor een transportproces van vijf containers. Containers 1 en 3, 1 en 4, 1 en 5, 2 en 4, 2 en 5, en 3 en 5 kunnen na elkaar door hetzelfde voertuig op tijd worden getransporteerd. Het minimale aantal paden om alle containers te vervoeren is 2. Het rode pad verbindt containers 1, 3 en 5. Het blauwe pad verbindt containers 2 en 4

Een pad in dit netwerk correspondeert met een reeks opdrachten die door hetzelfde voertuig kan worden uitgevoerd. Het doel is om het minimale aantal paden

(lees: voertuigen) in het netwerk te vinden zodanig dat alle knooppunten worden bezocht.

In de eerste stap van het algoritme wordt de slechtst mogelijke oplossing bepaald, te weten elke container wordt door een ander voertuig getransporteerd. In stap 2 bepalen we met hoeveel voertuigen we dit aantal maximaal kunnen reduceren. Hiertoe definiëren we een getransformeerd netwerk met omgekeerde verbindingen tussen knooppunten (bijvoorbeeld een lijn van container 3 naar container 5 in figuur 4). Met een standaard maximumflowalgoritme kan nu het maximale aantal paden (lees: maximale reductie) in dit getransformeerde netwerk worden bepaald. Het verschil tussen de in stap 1 en 2 verkregen waarden is het minimale aantal voertuigen dat benodigd is (Vis et al., 2001).

**Voorbeeld 2: Plannen van in- en uitslagopdrachten**

Een straddle carrier kan in de stack over een rij van containers heen rijden om een container op te halen (uitslag) of neer te zetten (inslag). Aan het uiteinde van iedere rij kan de straddle carrier wisselen van rij (zie figuur 3). Na het afhandelen van een opdracht zal de straddle carrier leeg naar de volgende opdracht rijden.

Het doel is om opdrachten zo goed mogelijk te combineren om de totale rijtijden te minimaliseren. De eerste stap om dit probleem op te lossen, is wederom het formuleren van een netwerk.

Figuur 5 laat zien hoe een stack van zes rijen met in- en uitslagopdrachten kan worden vertaald naar een netwerk. De knooppunten  $a_i^1$  en  $a_i^2$  geven de uiteinden van elk van de rijen weer. Het knooppunt  $v_0$  is het start- en eindpunt van de route. De overige knooppunten geven de opdrachten weer. Met behulp van letternummerscombinaties wordt bijgehouden de hoeveelste opdracht het in elke rij is, welk type opdracht ( $s$  = inslag,  $r$  = uitslag) het is en aan welke kant van de stack ( $1$  = zeezijde,  $2$  = landzijde) de opdracht wordt afgehandeld. Tussen elk van de knooppunten is de af te leggen afstand weergegeven.

In Vis & Roodbergen (2009) wordt een methode beschreven die een antwoord op de volgende vragen geeft: 1) in welke volgorde worden de opdrachten in elke rij afgehandeld? 2) aan welke kant van elke rij begint en eindigt de straddle carrier? 3) in welke volgorde worden de rijen bezocht?

Met behulp van dynamisch programmeren wordt in een keer een antwoord op alle drie de vragen gegeven. In de eerste stap van het algoritme wordt voor elke rij een optimale volgorde van inslag- en uitslagopdrachten bepaald voor elke mogelijke combinatie van begin-

en eindpunt in de rij. Dit probleem kan worden geformuleerd als een uitgebreid toewijzingsprobleem waarin opdrachten aan elkaar worden gekoppeld zodanig dat rijtijden in de rij worden geminimaliseerd. De uitkomst van deze stap dient als input in het dynamisch programmeringsalgoritme. Dit algoritme maakt gebruik van twee transities, namelijk het maken van koppelingen tussen rijen en het toevoegen van een route in een rij. Het algoritme start met het bekijken van alle opties in gang 1. Vervolgens wordt voor elke optie bekeken hoe de straddle carrier naar gang 2 kan rijden. Aansluitend worden alle mogelijke routes in gang 2 bekeken. Een voor een worden zo alle gangen afgehandeld en wordt in snelle rekentijd een optimale route voor de straddle carrier gevonden.

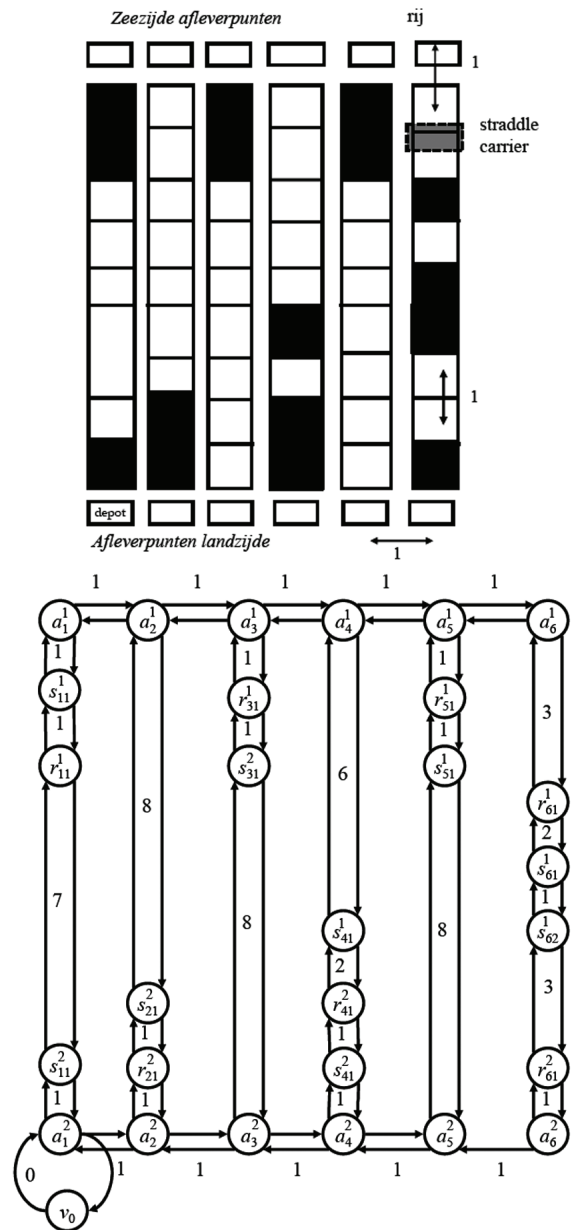


fig. 5 Boven: Stack met in- en uitslagopdrachten. Onder: netwerk met opdrachten

De optimale oplossing voor het in figuur 5 gegeven voorbeeld is weergegeven in figuur 6. Met deze methode kan een besparing in rijafstanden tot wel 50% worden behaald ten opzichte van de in de praktijk gangbare vuistregels.

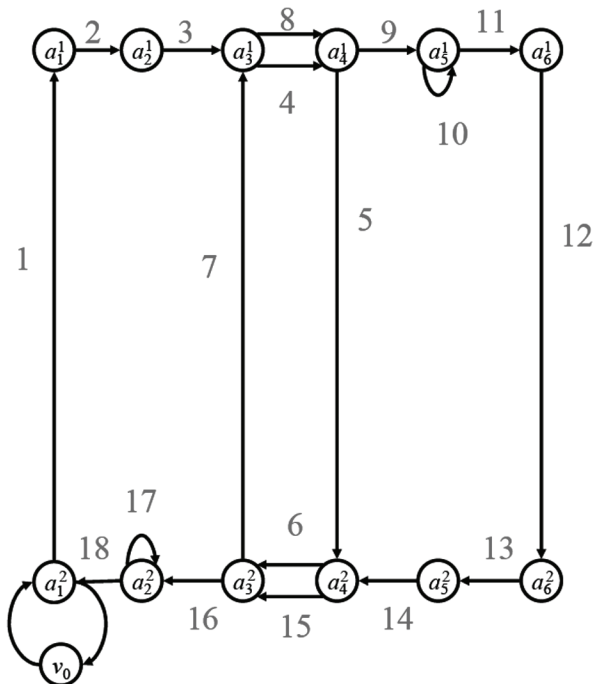


fig. 6 Optimale route voor straddle carrier om de opdrachten uit figuur 5 af te handelen. De rode nummers geven de volgorde weer waarin elk van de pijlen wordt doorlopen. De straddle carrier start in gang 1 in stap 1 en eindigt na het doorlopen vangang 2 in stap 17 met stap 18 weer bij gang 1

Voor beide voorbeelden geldt dat door het gebruik van toegepaste wiskunde tools zijn ontwikkeld die het terminalmanagement kunnen helpen bij het nemen van dagelijkse beslissingen. En dit waren slechts twee voorbeelden. Vele slimme vuistregels en complexere wiskundige technieken zijn beschikbaar om direct te worden geïmplementeerd in de computersystemen op de terminals. Het nut en de toegevoegde waarde van het gebruik van dit soort wiskundige technieken blijkt wel uit het feit dat in snelle rekentijd goede oplossin-

gen zijn te verkrijgen die direct besparingen in aanmeertijden en logistieke kosten kunnen opleveren.

Iris Vis,  
 Faculteit der Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde,  
 Vrije Universiteit, Amsterdam.

Dit artikel verscheen in mei 2008 in *Vuurwerk*, het relatietijdschrift van de feweb. Een verslag van de Alympiade (en de opdracht) is te vinden op <http://www.logistiek.nl/supply-chain/personneelsbeleid/nid7995-wiskunde-leerlingen-breken-hoofd-over-containerlogistiek.html>)

## Literatuur

- <http://www.acthph.nl> (Amsterdam Container Terminals)
- <http://www.irisvis.nl/container>
- Bakker, M. (2005). *Transport besturingsregels en lay-out van een geautomatiseerde containerterminal*, Masterscriptie Vrije Universiteit Amsterdam.
- Kroon, R. (2004). *Seriously Ceres? - The Port of Amsterdam Positioned in the Competitive North-West European Container Port Arena*, Masterscriptie Vrije Universiteit Amsterdam.
- Postmus, T. (2006). *Containerterminal Lay-out*, Masterscriptie Vrije Universiteit Amsterdam.
- Unctad (2007). *Review of maritime transport 2007*, United Nations.
- Vis, I.F.A., & De Koster, R. (2003). Transshipment of containers at a container terminal: an overview, *European Journal of Operational Research*, 147, 1-16.
- Vis, I.F.A., De Koster, R., Roodbergen, K.J., & Peeters, L.W.P. (2001). Determination of the number of AGVs required at a semi-automated container terminal, *Journal of the Operational Research Society*, 52, 409-417.
- Vis, I.F.A. & Roodbergen, K.J. (2009). Scheduling of container storage and retrieval, *Operations Research* 57, 456-467.