

Abonnementen

Beheer abonnementendienst

Lieve Lerno – tel. 03-220 47 21

Abonnementenprijzen 2002*

België

Individueel abonnement € 23,55 (950 BEF) (3 jaar: € 61,95 - 2.499 BEF)
Institutioneel abonnement (bedrijven, instellingen,
bibliotheken enz.) € 37,18 (1.500 BEF) (3 jaar: € 106,59 - 4.300 BEF)
Studentenabonnement € 18,59 (750 BEF) (3 jaar: € 49,58 - 2.000 BEF)
Wikingssenioren € 22,31 (900 BEF)

Nederland

Individueel abonnement € 32,23 (1.300 BEF)
Institutioneel abonnement € 43,39 (1.750 BEF)
(verzendingskosten inbegrepen)

Alle andere landen

(verzendings- en bankkosten inbegrepen) € 45,86 (1.850 BEF)

Los nummer

€ 9,67 (390 BEF)

* Inclusief 6% BTW

Om administratieve redenen kan een besteld abonnement niet geannuleerd worden.

Themanummers en losse nummers

Van een aantal themanummers en ook van nummers uit oudere jaargangen zijn nog exemplaren verkrijgbaar. Voor informatie over de prijs en voor bestellingen kunt u contact opnemen met Lieve Lerno.

Rekeningnummers

KBC Bank 409-6521861-13
Postrekening Nederland 113 087
(t.n.v. UFSIA, 2000 Antwerpen)

Redactieadres

Economisch en Sociaal Tijdschrift
Prinsstraat 13, 2000 Antwerpen

Tel. redactie 03-220 47 23
Tel. abonnementen en boekhouding 03-220 47 21
Website: <http://www.ufsia.ac.be/est/>

Verantwoordelijke uitgever

Paul Roosens, Berkenheide 6, 2970 Schilde

Economisch en Sociaal Tijdschrift is regularly listed in the International Current Awareness Services. Selected material is indexed in the International Bibliography of the Social Sciences.

Gust Blauwens *

Sabine Janssens *

Bert Vernimmen *

Frank Witlox **

Het belang van frequente afvaarten in het gecombineerd vervoer van containers

Trefwoorden: modale keuze in het goederenvervoer; logistiek; gecombineerd vervoer

In deze bijdrage wordt de modale keuze in het goederenvervoer geanalyseerd uit het oogpunt van de ontvanger van de goederen. Het vertrekpunt van de analyse is de totale logistieke kostprijs, een centraal concept uit de logistiek. Concreet betekent dit dat er bij de keuze tussen vervoersmodi expliciet rekening wordt gehouden met alle kosten binnen de logistieke keten waarop deze keuze een invloed uitoefent.

Het concept van de totale logistieke kostprijs wordt geïllustreerd aan de hand van een gevalstudie, uitgevoerd bij een bedrijf dat de overstap heeft gemaakt van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer voor de aanvoer van containers vanuit de Antwerpse ha-

* Faculteit TEW UFSIA-RUCA, Vakgroep Transport en Ruimtelijke Economie

** Universiteit Gent, Faculteit Wetenschappen, Vakgroep Geografie; Faculteit TEW UFSIA-RUCA, Vakgroep Transport en Ruimtelijke Economie; Limburgs Universitair Centrum

Deze bijdrage werd geschreven in het kader van het FWO-project Bedrijfslogistieke kosten en vervoerspolitiek: de rol van voorraden en leveringsstijden bij multimodale keuze. Dit project wordt gefinancierd door het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek (FWO) van de Vlaamse Gemeenschap (projectnr. U/P/TPR/OZF58000). Ook de Faculteit TEW UFSIA-RUCA zorgt voor financiële ondersteuning, mede via een subsidie in het kader van "UFSIA 2002" (projectnr. U/P/TPR/OZR23000). De auteurs danken prof. dr. Eddy Van de Voorde en twee anonieme referenten voor hun opmerkingen en suggesties bij een eerdere versie van deze tekst. De auteurs blijven volledig verantwoordelijk voor de inhoud van deze bijdrage.

Economisch en Sociaal Tijdschrift, 2002/4, blz. 411-435

ven. De containers die in Antwerpen toekomen, worden op een binnenschip geplaatst en vervoerd naar de containerterminal van Meerhout. Daar worden ze overgeslagen op een vrachtwagen, die ze naar hun uiteindelijke bestemming brengt.

In de gevalstudie blijkt de frequentie waarmee gevaren wordt tussen de haven van Antwerpen en de containerterminal van Meerhout een belangrijk element te zijn in de logistieke analyse. Het gecombineerd vervoer is bij de huidige frequentie van zes afvaarten per week goedkoper dan het rechtstreeks wegvervoer. Een halvering van de frequentie tot drie afvaarten per week zou de kostprijs van het gecombineerd vervoer echter zodanig opdrijven dat de balans weer omslaat in het voordeel van het vervoer per vrachtwagen.

1. Inleiding

In de literatuur over transport en logistiek is de problematiek van de modale keuze in het goederenvervoer de laatste decennia veelvuldig onderzocht. Dit heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een hele reeks modellen voor de vraag naar goederenvervoer. Een interessant overzicht van deze modellen vindt men terug bij McGinnis (1989), die een opdeling maakt in vier categorieën: de *classical economic models*, de *inventory-theoretic models*, de *trade-off models* en de *constrained optimization models* (zie ook Cunningham, 1982; Winston, 1983).

In deze bijdrage wordt de problematiek van de modale keuze in het goederenvervoer geanalyseerd vanuit een *inventory-theoretic* oogpunt. Uitgangspunt van de analyse is de *totale logistieke kostprijs*, een centraal concept uit de logistiek (Sheffi et al., 1988; Coyle et al., 1996; Ballou, 1999). Concreet betekent dit dat er bij de keuze tussen vervoersmodi expliciet rekening wordt gehouden met alle kosten binnen de logistieke keten die door deze keuze beïnvloed worden. Het gaat hier dan uiteraard om de transportkosten zelf, maar ook om de zogenaamde *non-transportation logistics costs* zoals de bestelkosten, de voorraadkosten, de kosten van goederenbehandeling en verpakking, de kosten van vestigingsplaatsen enz.

Wat betreft de *inventory-theoretic* aanpak van modale keuze in het goederenvervoer, mag het werk van Baumol en Vinod (1970) als baanbrekend beschouwd worden. De auteurs argumenteren dat het keuzeproces van een vervoersmodus een afruil impliceert tussen transportkosten (*freight rates*), snelheid (*average delivery time*) en betrouwbaarheid (*dependability*). Expliciete aandacht wordt besteed aan de impact van snelheid en stipt-

heid van een vervoersmodus op de voorraadkosten. In navolging van Baumol en Vinod (1970) hebben vele andere auteurs het *inventory-theoretic* kader toegepast op de modale keuze in het goederenvervoer. Het valt buiten het bestek van deze bijdrage om op al deze werken in te gaan. Voor een uitgebreid literatuuroverzicht kan men terecht bij Tyworth (1991) en Vernimmen en Witlox (2001).

In deze bijdrage wordt het concept van de totale logistieke kostprijs geïllustreerd aan de hand van een gevalstudie, uitgevoerd bij een bedrijf dat de overstap heeft gemaakt van het wegvervoer naar de binnenvaart voor de aanvoer van containers vanuit de Antwerpse haven. Het bedrijf in kwestie maakt hierbij gebruik van de containerterminal in Meerhout, omdat het niet over een rechtstreekse binnenvaartontsluiting beschikt. Een en ander heeft tot gevolg dat er, in vergelijking met het rechtstreeks wegvervoer, bijkomende kosten van goederenbehandeling in Meerhout optreden. Bovendien is er vanuit Meerhout nog een stuk natransport over de weg vereist om de container tot op zijn uiteindelijke bestemming te brengen.

Strikt genomen hebben we hier dus te maken met een overstap van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer. Dit laatste wordt door de *Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail-Route (UIRR)* omschreven als "de combinatie van ten minste twee transportmodi in een enkele transportketen, zonder dat de goederen van container veranderen, waarbij het grootste gedeelte van het traject wordt afgelegd per spoor, binnenvaart of kustvaart, en met een zo kort mogelijk initieel en finaal traject over de weg" (voor enkele andere definities van gecombineerd vervoer, zie Macharis en Verbeke, 1999).

In hetgeen volgt zullen we onderzoeken of deze *modal shift* van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer gerechtvaardigd is uit het oogpunt van de totale logistieke kostprijs. Na een korte situering van de gevalstudie komen in paragraaf 2.1 de transportkosten van de beide vervoersalternatieven aan bod. Vervolgens analyseren we in paragraaf 2.2 de voorraadkosten. Paragraaf 2.3 geeft een overzicht van de totale logistieke kostprijs. In de laatste paragraaf (2.4) onderzoeken we welke invloed een verandering van de afvaartfrequentie tussen Antwerpen en Meerhout heeft op de totale logistieke kostprijs van het gecombineerd vervoer.

2. Een concrete gevalstudie

De gevalstudie die in deze bijdrage wordt uitgewerkt, heeft betrekking op het vervoer van hoogwaardige goederen vanuit de Verenigde Staten naar België. De goederen worden aan de oostkust van de VS in containers geladen en naar de haven van Antwerpen verscheept. Op jaarbasis betreft het een volume van 190 containers of 380 TEU¹.

De containers die in Antwerpen gelost worden, werden tot voor kort uitsluitend via het wegvervoer tot bij de bestemming in Herentals gebracht. De laatste tijd wordt deze vervoersmodus echter geconfronteerd met een steeds toenemende congestie op de wegen. Mede daardoor is het bedrijf in kwestie op zoek gegaan naar alternatieven.

De oplossing die uiteindelijk uit de bus is gekomen, is de volgende: de containers die in Antwerpen gelost worden, worden met een binnenschip vervoerd naar de containerterminal van Meerhout². Daar worden ze overgeslagen op een vrachtwagen, die ze naar hun uiteindelijke bestemming brengt.

2.1 Transportkosten

Voor het rechtstreeks wegvervoer vanuit de Antwerpse haven naar Herentals betaalde het bedrijf in het verleden een vervoerprijs van 223,10 euro per container (FEU). In dit bedrag was zowel het laden en lossen van de vrachtwagen als het eigenlijke vervoer begrepen.

De vervoerprijs die men vandaag voor het gecombineerd vervoer betaalt, ligt op hetzelfde niveau: ook hier betaalt men 223,10 euro per container, laden en lossen inbegrepen.

- 1 TEU = *Twenty-foot Equivalent Unit*, een standaardmaat voor containers. Een TEU is een container met een lengte van twintig voet of ongeveer 6 meter. In deze gevalstudie worden de goederen uitsluitend aangevoerd in containers van veertig voet, zogenaamde FEU's of *Forty-foot Equivalent Units*. Een FEU heeft een lengte van ongeveer 12 meter en komt overeen met twee TEU's.
- 2 Deze *bimodale* weg/binnenvaartterminal is gelegen langs het Albertkanaal, op ongeveer 70 km van de grote containerterminals in de Antwerpse haven (zie bijlage 1). Met een totaal volume van 108.043 TEU in het jaar 2001, is het een van de grootste inland-containerterminals in de Benelux. Er bestaan plannen om de terminal in de toekomst te voorzien van een rechtstreekse spoor aansluiting, en hem zodoende *trimodaal* te maken.

In tegenstelling tot hetgeen men misschien zou verwachten, is de overstap van het wegvervoer naar de binnenvaart dus niet gepaard gegaan met een daling van de transportkosten. Een en ander heeft uiteraard te maken met het feit dat de bestemming niet rechtstreeks aan het water gelegen is, waardoor er geen deur-tot-deurtransport via de waterweg mogelijk is. De extra kosten van goederenbehandeling in Meerhout en het natransport over de weg naar Herentals maken het gecombineerd vervoer even duur als het rechtstreeks wegvervoer, althans wat de transportkosten betreft (zie ook Macharis en Verbeke, 2001).

Louter uit het oogpunt van de transportkosten zou de ontvanger van de goederen dus onverschillig moeten zijn tussen deze beide alternatieven. Op grond van de transportkosten alleen is er geen voorkeur te geven voor het wegvervoer of het gecombineerd vervoer.

Zoals gezegd, mogen we ons bij een vergelijking van vervoersalternatieven echter niet beperken tot een vergelijking van de transportkosten. Er zijn daarnaast nog een aantal andere logistieke kosten die we in de analyse moeten betrekken. Dit zogenaamde *total cost concept* staat centraal in de logistiek. Eerder dan te proberen om slechts één kostenelement binnen de logistieke keten (bijvoorbeeld de transportkosten) te minimaliseren, beschouwen we de invloed van een transportbeslissing op de totale logistieke keten, en minimaliseren we vervolgens de totale logistieke kosten.

In dit opzicht moeten de douanekosten vermeld worden als een voorbeeld van kosten die een belangrijke impact ondervonden van de *modal shift* naar het gecombineerd vervoer. Terwijl het bedrijf in het verleden een prijs van ongeveer 70 euro per container (FEU) betaalde voor de inklaring van de goederen, betaalt men nu ongeveer 40 euro per container.

Een tweede voorbeeld van logistieke kosten die een belangrijke impact kunnen ondervinden van een *modal shift*, zijn de voorraadkosten. Deze worden beïnvloed op drie manieren: de keuze van een vervoerswijze heeft een weerslag op de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad.

Aangetoond zal worden dat de voorraadkosten in het nadeel uitvallen van het vervoer over water. Normaal gezien zou de binnenvaart dit kostennadeel kunnen compenseren met lagere transportkosten, maar zoals gezegd is dit hier, wegens de goederenbehandeling in Meerhout en het natransport per vrachtwagen naar Herentals, niet het geval.

Alvorens over te gaan tot een berekening van de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad, overlopen we kort de elementen die deel uitmaken van de kostprijs om goederen in voorraad te houden.

2.2 Voorraadkosten

De kostprijs om goederen in voorraad te houden, bestaat uit vier elementen (Blauwens et al., 2001, blz. 243): (i) interestkosten, (ii) ontwaardingskosten, (iii) verzekeringskosten en (iv) magazijnkosten.

(i) interestkosten

In de goederen die in voorraad gehouden worden, ligt geld vast, dat niet gebruikt kan worden voor investeringen of beleggingen. De interest die men hierdoor derft, nemen we op als element van de voorraadkosten (Lambrecht, 1999; Van Goor et al., 2000).

Voor de berekening van de interestkosten mag men de interestvoet slechts tellen in de mate dat hij de gemiddelde prijsstijging overtreft. Men beschouwt dus niet de nominale maar wel de reële interestvoet, zijnde de interestvoet boven inflatie (Blauwens, 1991, blz. 448). Voor deze gevalstudie rekenen we met een reële interestvoet van 5% op jaarbasis.³

Deze interestvoet moet toegepast worden op de waarde die in een eenheid van het goed geïnvesteerd is. De gemiddelde waarde van een containerlading bedraagt in dit specifieke geval ongeveer 50.000 euro. Het in voorraad houden van zulk een containerlading kost dus 2.500 euro per jaar, of 6,85 euro per dag, aan interestkosten.

De interestkosten gelden zowel voor de voorraad tijdens het vervoer als voor de cyclische voorraad en de veiligheidsvoorraad. Of de goederen

3. De kapitaalmarkt in vele westerse landen vertoont een reële interest van 4 à 5 procent, als men een gemiddelde maakt over vele jaren. Men zou dat percentage dan ook kunnen voorstellen voor de berekening van de reële interest in bedrijven die voorraden aanleggen. Het is echter evident dat er wat dit betreft verschillen zullen zijn van de ene onderneming tot de andere. Zo zijn er bijvoorbeeld ondernemingen die voor al hun investeringen een *corporate interest rate* opleggen van 10%. Dat is bij een inflatie van 2% een reële interestvoet van $(1,10/1,02) = 7,8\%$.

aanwezig zijn in het transport of op de plaats van bestemming, maakt voor de berekening van de interest immers niet uit.

(ii) ontwaardingskosten

Ontwaarding van de goederen kan ontstaan door fysieke aftakeling of bederf. Meestal is dit echter niet de hoofdoorzaak. Veel belangrijker zijn de economische ontwaardingskosten. Er bestaan bepaalde goederen die na enkele maanden of jaren hun volledige waarde verliezen. Ze worden dan incurant of onverkoopbaar. Denk bijvoorbeeld aan modekleding of computeronderdelen. De ontwaardingskosten zijn bij deze goederen zeer hoog.

Voor de goederen die wij hier beschouwen, ligt de situatie anders. De goederen die aangevoerd worden, zijn niet aan fysieke of economische ontwaarding onderhevig. We houden in onze berekeningen dan ook geen rekening met ontwaardingskosten.

(iii) verzekeringskosten

Het bedrijf heeft een verzekering tegen brand en diefstal afgesloten. De verzekeringspremie bedraagt 0,2% op jaarbasis op de waarde van een containerlading. Voor een container met een gemiddelde lading van 50.000 euro levert dit een jaarlijks bedrag van 100 euro op.

(iv) magazijnkosten

Het bedrijf beschikt niet over eigen magazijnruimte om de goederen te stockeren. De goederen worden opgeslagen in een extern magazijn in de onmiddellijke omgeving. De magazijnuitbater rekent hiervoor een tarief aan van 40,16 euro per m² per jaar.

Aangezien de lading van een container een oppervlakte van 25 m² in beslag neemt, bedragen de jaarlijkse magazijnkosten 1.004 euro per container.

De verschillende elementen van de voorraadkosten worden samengevat in tabel 1.

Tabel 1. Voorraadkosten per container per jaar.

Interestkosten	2.500 euro
Ontwaardingskosten	0 euro
Verzekeringskosten	100 euro
Magazijnkosten	1.004 euro
Totale voorraadkosten	3.604 euro

Het in voorraad houden van een containerlading gedurende een volledig jaar kost dus 3.604 euro. Op basis van deze kostprijs kunnen we nu overgaan tot de berekening van de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad voor de beide vervoersalternatieven.

2.2.1 Cyclische voorraadkosten

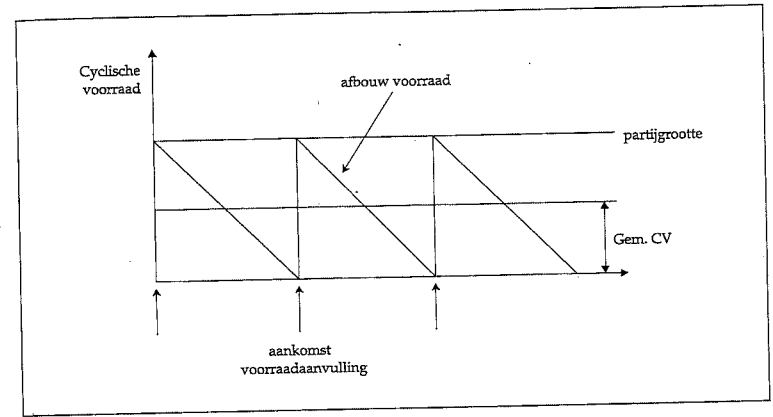
Wanneer een onderneming goederen aanvoert, doet ze dat meestal in een kwantiteit die gedurende een bepaalde tijd haar behoeften dekt. De goederen zullen dus een tijd in voorraad liggen alvorens verbruikt te worden. Het verloop van die voorraad is cyclisch.

Onmiddellijk na aankomst van de goederen bedraagt de cyclische voorraad de totale bestelkwantiteit. Vervolgens wordt de voorraad geleidelijk aan afgebouwd tegen het verbruiksritme. Tegen het einde van de bestelcyclus, op het moment dat de volgende voorraadaanvulling plaatsvindt, is de cyclische voorraad nul. Hieruit leidt men af dat, gemiddeld gezien, de halve bestelkwantiteit in cyclische voorraad ligt (zie figuur 1)⁴.

Zowel bij het wegvervoer als bij het gecombineerd vervoer wordt er verzonden in partijgroottes van telkens één container. Gemiddeld gezien ligt er dus, voor de beide vervoersalternatieven, een halve containerlading in cyclische voorraad. Dit levert een kostprijs op van $(0,5 \text{ containers} \times 3.604 \text{ euro per container per jaar}) = 1.802 \text{ euro per jaar}$.

4 In figuur 1 wordt verondersteld dat het verbruiksritme constant is. De daling van de voorraad verloopt dan in een rechte lijn. Ook als er toevallige schommelingen optreden in het verbruiksritme, blijft het echter zo dat, gemiddeld gezien, de helft van de partijgrootte in cyclische voorraad ligt. De schommelingen in het verbruiksritme moeten dan wel echt toevallig zijn, d.w.z. ze mogen geen systematisch verband vertonen met het binnenkomen van de ladingen (Blauwens et al., 2001, blz. 247).

Figuur 1. Cyclische voorraad.



Aangezien er per jaar 190 containers behandeld worden, is dit een kostprijs van 9,48 euro per container.

2.2.2 Voorraadkosten tijdens het vervoer

De goederen in kwestie blijven gedurende de volledige transporttijd onbeschikbaar en veroorzaken gedurende deze tijd voorraadkosten. Om de voorraadkosten tijdens het vervoer te kunnen bepalen, moeten we de transporttijden van de beide vervoerswijzen enkel vermenigvuldigen met de interestkosten van 2.500 euro per container per jaar. Verzekeringskosten moeten hier niet geteld worden, aangezien deze reeds vervat zitten in de transportkosten. En uiteraard moeten er ook geen magazijnkosten tijdens het vervoer geteld worden.

Het is duidelijk dat voorraadkosten tijdens het vervoer aansporen tot het gebruik van snelle vervoersmodi, terwijl de cyclische voorraadkosten aanzetten tot het vervoer in kleine partijen. Omdat de snelste vervoersmodi vaak vervoeren in kleine partijen (denk bijvoorbeeld aan luchtvervoer), verliest men het onderscheid soms uit het oog. In wezen betreft het echter elementen van een totaal andere aard (Blauwens et al., 2001, blz. 248).

In het verleden, toen de containers vanuit Antwerpen over de weg werden aangevoerd naar de bestemming, bedroeg de totale aanvoertijd

ongeveer 14,8 dagen. Deze aanvoertijd bevat niet alleen de transporttijd van Antwerpen naar Herentals, maar ook het zeevervoer dat daaraan voorafging, evenals de overslag in de beide zeehavens en wachttijden. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedroegen voor deze vervoersmodus dan ook

$$14,8 \text{ dagen} \times \frac{2.500}{365} \text{ euro per container en per dag} = 101,37 \text{ euro per container.}$$

Na de overschakeling op het gecombineerd vervoer is de totale aanvoertijd van Amerika tot Herentals licht verhoogd. Tussen het tijdstip van vertrek van het containerschip in Amerika en het tijdstip van aankomst van het binnenschip in Meerhout verlopen er gemiddeld gezien 15,6 dagen. Het overladen van de container op een vrachtwagen en het natransport naar Herentals (ongeveer 25 km) neemt ongeveer 2 uur in beslag, zodat de totale levertijd voor het gecombineerd vervoer uitkomt op ongeveer 15,7 dagen. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen bijgevolg

$$15,7 \text{ dagen} \times \frac{2.500}{365} \text{ euro per container en per dag} = 107,53 \text{ euro per container.}$$

De overstap van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer leidt dus niet tot hogere cyclische voorraadkosten (de partijgrootte verandert niet), maar wel tot hogere voorraadkosten tijdens het vervoer. Het verschil tussen de twee vervoersalternatieven blijft echter beperkt tot ongeveer 6 euro per container.

In dit opzicht speelt de hoge frequentie waarmee gevaren wordt tussen de haven van Antwerpen en de terminal van Meerhout een belangrijke rol. Vanuit Meerhout worden er momenteel zes afvaarten per week van en naar de haven van Antwerpen aangeboden, hetgeen impliceert dat de wachttijd op een afvaart van het binnenschip laag is.

Het is duidelijk dat deze wachttijd, en dus ook de totale levertijd van het gecombineerd vervoer, hoger zal oplopen indien er tussen Antwerpen en Meerhout op een lagere afvaartfrequentie zou worden overgeschakeld. De impact van een dergelijke frequentieverlaging op de totale logistieke kostprijs wordt onderzocht in paragraaf 2.4.

2.2.3 Kosten van veiligheidsvoorraad

Een derde soort voorraadkosten die we moeten beschouwen in de logistieke analyse, zijn de kosten van de veiligheidsvoorraad die bij de bestemming in Herentals aangehouden wordt. Onder veiligheidsvoorraad (soms ook buffervoorraad genoemd) verstaan we de hoeveelheid goederen die gemiddeld gezien nog in voorraad ligt bij de aankomst van een voorraadaanvulling.

Bedrijven leggen een veiligheidsvoorraad aan indien er onzekerheid bestaat over de vraag vanwege de klanten of over de tijd die zal verstrijken voor een bestelling arriveert. Wegens de schommelingen die hierin kunnen optreden, wenst men voorraadaanvullingen niet zo te plannen dat zij zouden arriveren precies op het moment waarop de verwachte voorraad nul is. Men wil een reserve houden (Blauwens, 2000, blz. 12).

In situaties waarin zowel de vraag vanwege de klanten als de levertijd stochastisch zijn (d.w.z. niet met zekerheid gekend), wordt de veiligheidsvoorraad berekend op basis van de statistische verdeling van de vraag tijdens de levertijd. Hiermee bedoelen we het verbruik uit de voorraad tijdens de periode die verstrijkt tussen het plaatsen van een bestelling en de aankomst van de goederen in het magazijn.

In hetgeen volgt, veronderstellen we dat de vraag tijdens de levertijd normaal verdeeld is. De volgende eenvoudige formule kan dan gebruikt worden om de veiligheidsvoorraad (VV) te berekenen:

$$VV = K \times \sigma \quad (1)$$

waarin σ de standaardafwijking is van de vraag tijdens de levertijd en K een constante, afhankelijk van het toegelaten risico op een voorraadtekort tijdens de levertijd. Zodra men het risico gekozen heeft, kan men de bijbehorende waarde van K terugvinden in een tabel van de normaalverdeling, die aanwezig is in elk handboek statistiek. Tabel 2 geeft een overzicht van enkele K -waarden voor verschillende tekortrisico's. Uit deze tabel leiden we af dat opeenvolgende verminderingen van het tekortrisico met 1 procentpunt steeds grotere toenames van K impliceren. Dit leidt op zijn beurt tot steeds hogere kosten van veiligheidsvoorraad.

Tabel 2. Waarden van K voor verschillende risico's op voorraadtekorten tijdens de levertijd.

Tekortrisico	K	Tekortrisico	K
10%	1,28	4%	1,75
9%	1,34	3%	1,88
8%	1,41	2%	2,05
7%	1,48	1%	2,33
6%	1,55	0,5%	2,58
5%	1,64	0,1%	3,09

Bron: Blauwens et al., 2001, blz. 256.

We kunnen de standaardafwijking σ van de vraag tijdens de levertijd berekenen met behulp van de volgende formule⁵ (zie bijvoorbeeld Fetter en Dalleck, 1961, blz. 108):

$$\sigma = \sqrt{(T \cdot v + V^2 \cdot t)} \quad (2)$$

waarin T = de gemiddelde levertijd (dagen)
 t = de variantie van de levertijd
 V = de gemiddelde vraag (containerladingen per dag)
 v = de variantie van de vraag.

De parameter T hangt af van de *snelheid* van de vervoersmodus, terwijl t afhangt van de *stiptheid* van de vervoersmodus. Dus: hoe sneller een vervoersmodus, hoe kleiner de waarde van T ; hoe stipter een vervoersmodus, hoe kleiner de waarde van t . Zoals men ziet, worden deze beide parameters gewogen met respectievelijk de variantie v van de vraag en het kwadraat van de gemiddelde vraag V .

Uit het voorgaande is duidelijk dat de omvang van de veiligheidsvoorraad afhangt van de vervoerswijze die men kiest: hoe langer en hoe wisselvalliger de levertijd van een bepaalde vervoerswijze (d.w.z. hoe groter T en t), *ceteris paribus*, hoe groter σ en hoe hoger de veiligheidsvoorraad die men moet aanleggen, wil men het risico op een voorraadtekort niet laten oplopen.

⁵ Deze formule geldt alleen als er onafhankelijkheid is zowel tussen de levertijd en de dagelijkse vraag als tussen de opeenvolgende dagelijkse vraagniveaus (Blauwens et al., 2001, blz. 269).

In tabel 3 vindt men, zowel voor het wegvervoer als voor het gecombineerd vervoer, de waarde van de vier parameters en de daaruit resulterende waarde van σ . Zoals men ziet, verschillen alleen de parameters T en t tussen de beide vervoersmodi. De parameters V en v hangen enkel af van de vraag vanwege de klanten, en ondervinden dus geen invloed van een eventuele *modal shift*.

Tabel 3. Parameterwaarden.

	Wegvervoer	Gecombineerd vervoer
T	14,8	15,7
t	2,82	2,93
V	0,52	0,52
v	0	0
σ	0,8732	0,8901

Hierbij dient aangestipt dat we in de huidige gevalstudie enkel voor het gecombineerd vervoer beschikten over zowel de gemiddelde levertijd T als de variantie t van de levertijd. Voor het wegvervoer was enkel de gemiddelde levertijd T gekend, maar niet de variantie van de levertijd.

We kunnen de variantie van de levertijd van het wegvervoer echter berekenen uit de variantie van de levertijd van het gecombineerd vervoer. We maken daarbij de veronderstelling dat, zowel voor het wegvervoer als voor het gecombineerd vervoer, de verschillende componenten van de levertijd (zeevervoer, wachttijden en landvervoer) onafhankelijk van elkaar zijn. Dan is de variantie van de totale levertijd eenvoudigweg de som van de varianties van de samenstellende componenten.

Wat het gecombineerd vervoer betreft, wordt een deel van de totale variantie t gevormd door de variantie van de wachttijd op een afvaart van het binnenschip. Men kan wiskundig aantonen dat deze variantie gelijk is aan een twaalfde van het kwadraat van de tijd tussen twee afvaarten (zie bijlage 2). Aangezien de huidige frequentie tussen Antwerpen en Meerhout zes afvaarten per week bedraagt, bedraagt de tijd tussen twee afvaarten gemiddeld gezien $7/6 = 1,1666$ dagen. Dit levert een gemiddelde wachttijd op van $1,1666/2 = 0,5833$ dagen en een variantie van de wachttijd van $(1,1666^2/12) = 0,1134$.

Bij het wegvervoer is er uiteraard geen sprake van wachttijden op een afvaart. Om de variantie van de levertijd van het wegvervoer te bekomen,

moeten we het hierboven berekende getal dus in mindering brengen van de totale variantie van de levertijd van het gecombineerd vervoer. Dit levert een variantie op van $2,93 - 0,1134 = 2,82$ (zie tabel 3).

Strikt genomen zouden we ook nog kunnen veronderstellen dat de variantie van de zuivere vervoertijd verschilt tussen de beide vervoersmodi. We hebben evenwel geen enkele reden om dit aan te nemen. De containerlijnen in de binnenvaart varen met een regelmaat die niet sterk van het wegvervoer verschilt (Blauwens, *s.d.*, blz. 15).

We kunnen nu, op basis van de gegevens uit tabel 3, berekenen hoe de veiligheidsvoorraad moet worden aangepast bij een overstap van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer.

In het verleden, toen de containers nog volledig via vrachtwagens werden aangevoerd, lag er bij de bestemming een veiligheidsvoorraad van ongeveer 10 weken productie. Dit betekent dat er gemiddeld gezien ongeveer 70 dagen verliepen vooraleer de goederen uit een nieuwe zending in verbruik gingen.

Elke dag kost ongeveer 6,85 euro aan interestkosten, 0,27 euro aan verzekeringskosten en 2,75 euro aan magazijnkosten (zie tabel 1), zodat de kosten van veiligheidsvoorraad uitkomen op $(70 \times 9,87) = 690,9$ euro per container.

Bij de overschakeling naar het gecombineerd vervoer loopt de standaardafwijking van de vraag tijdens de levertijd op van 0,8732 naar 0,8901 (zie tabel 3). Zij wordt dus vermenigvuldigd met een factor $(0,8901/0,8732) = 1,01935$. Als we ervan uitgaan dat de voorraadbeheerder bij de *modal shift* geen verhoging van het tekortrisico wenst te accepteren, moet de veiligheidsvoorraad in exact dezelfde proportie verhoogd worden. Dit resulteert in een kostprijs van $(1,01935 \times 690,9 \text{ euro per container}) = 704,27 \text{ euro per container}$.⁶

6 Merk op dat de aanpak die we hier volgen, kan leiden tot een lichte overschatting van de kosten die aan een *modal shift* verbonden zijn. De voorraadbeheerder kan bij een *modal shift* immers op twee manieren reageren: gedeeltelijk met een verandering van de veiligheidsvoorraad, gedeeltelijk met een verandering van het aantal tekorten. Door op te leggen dat hij uitsluitend met een verandering (in dit geval een verhoging) van de veiligheidsvoorraad moet reageren, zonder een wijziging in het tekortrisico te accepteren, nemen we vrijheid voor hem weg. Dit zou kunnen leiden tot een lichte vorm van conservatisme in de keuze van een vervoerswijze. Bij een beperkte verandering in veiligheidsvoorraad, en in een bedrijf met een goed voorraadbeleid, is deze fout evenwel te verwaarlozen (Blauwens, *s.d.*, blz. 10).

2.3 Totale logistieke kostprijs

Op basis van de hierboven berekende gegevens kunnen we de totale logistieke kostprijs becijferen voor de aanvoer van containers via het wegvervoer en het gecombineerd vervoer. Deze kostprijs, opgebouwd uit transportkosten, douanekosten en voorraadkosten, wordt weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. *Vergelijking wegvervoer en gecombineerd vervoer (kostprijs per container).*

	Wegvervoer	Gecombineerd vervoer
Transportkosten	223,10 euro	223,10 euro
Douanekosten	70,00 euro	40,00 euro
Cyclische voorraadkosten	9,48 euro	9,48 euro
Voorraadkosten tijdens het vervoer	101,37 euro	107,53 euro
Kosten van veiligheidsvoorraad	690,90 euro	704,27 euro
Totale logistieke kostprijs	1.094,85 euro	1.084,38 euro

Zoals men ziet, is de overstap die het bedrijf gemaakt heeft van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer gerechtvaardigd uit het oogpunt van de totale logistieke kostprijs. Het verschil tussen de beide vervoerswijzen bedraagt ongeveer 10 euro per container in het voordeel van het gecombineerd vervoer.

Men ziet dat het gecombineerd vervoer weliswaar in het nadeel is ten opzichte van het wegvervoer wat de voorraadkosten betreft, maar dit nadeel bedraagt ongeveer 20 euro per container en blijft al bij al dus beperkt. Dit heeft twee oorzaken. Ten eerste wordt er bij het gecombineerd vervoer aangevoerd in dezelfde partijgrootte als bij het wegvervoer (telkens 1 container), waardoor de *modal shift* niet gepaard gaat met een stijging van de cyclische voorraadkosten. Ten tweede treedt er, dankzij de hoge afvaartfrequentie die aangeboden wordt tussen de haven van Antwerpen en de containerterminal van Meerhout, bij de overstap van het wegvervoer naar het gecombineerd vervoer slechts een kleine stijging op in de voorraadkosten tijdens het vervoer en in de kosten van veiligheidsvoorraad.

Om het belang van de hoge afvaartfrequentie te illustreren, zullen we in de volgende paragraaf onderzoeken hoe de totale logistieke kostprijs van het gecombineerd vervoer verandert als de frequentie tussen Antwerpen en Meerhout zou worden gewijzigd.

2.4 Impact van een wijziging van de frequentie tussen Antwerpen en Meerhout

Zoals gezegd, wordt er momenteel een frequentie van zes afvaarten per week aangeboden tussen de haven van Antwerpen en de containerterminal van Meerhout. Dit houdt in dat de tijd tussen twee afvaarten gemiddeld gezien $7/6 = 1,1666$ dagen bedraagt. De gemiddelde wachttijd op een afvaart bedraagt 0,5833 dagen, met een variantie van 0,1134 (cf. supra). We hebben berekend dat het gecombineerd vervoer onder deze omstandigheden ongeveer 10 euro per container goedkoper is dan het rechtstreeks wegvervoer.

Stel nu dat men zou beslissen om de frequentie tussen Antwerpen en Meerhout te halveren, namelijk van zes tot drie afvaarten per week (dit is de frequentie die momenteel aangeboden wordt tussen Meerhout en de haven van Rotterdam). Dit zou betekenen dat de tijd tussen twee afvaarten van het binnenschip verdubbelt tot 2,3333 dagen. De gemiddelde wachttijd op een afvaart bedraagt dan 1,1666 dagen. De variantie van de wachttijd loopt op van 0,1134 tot $(2,3333^2/12) = 0,4537$. Een halvering van de frequentie gaat dus gepaard met een aanzienlijke stijging in de variantie van de wachttijd op een afvaart.

Een en ander heeft tot gevolg dat de totale levertijd T van het gecombineerd vervoer oploopt van 15,7 tot ongeveer 16,28 dagen. De variantie van levertijd t wordt verhoogd van 2,93 tot $(2,93 - 0,1134 + 0,4537) = 3,27$.

Dit levert een σ -waarde op van (cf. formule (2)):

$$\sqrt{16,28 \times 0 + (0,52)^2 \times 3,27} = 0,9403$$

Zowel de voorraad tijdens het vervoer als de veiligheidsvoorraad onder vinden een invloed van de verlaagde frequentie. De voorraad tijdens het vervoer neemt toe omdat de gemiddelde levertijd stijgt, terwijl de veiligheidsvoorraad stijgt wegens een hogere gemiddelde levertijd én een toegenomen variantie van de levertijd.⁷

7 Aangezien de variantie v van de vraag in deze gevalstudie 0 is, heeft een verandering in de gemiddelde levertijd geen invloed op de waarde van σ : het product $T \cdot v$ is steeds gelijk aan 0. De mate waarin de veiligheidsvoorraad moet worden aangepast, hangt hier dus enkel af van de verandering in de variantie t van de levertijd. Het is echter duidelijk dat, in situaties waar de variantie v van de vraag niet gelijk is aan 0, de aanpassing van de veiligheidsvoorraad zal afhangen van zowel de verandering in de gemiddelde levertijd T als de variantie t van de levertijd.

De voorraadkosten tijdens het vervoer, bij een frequentie van drie afvaarten per week, bedragen

$$16,28 \text{ dagen} \times \frac{2.500}{365} \text{ euro per container per dag} = 111,51 \text{ euro per container.}$$

De veiligheidsvoorraad, nog steeds in de veronderstelling dat de voorraadbeheerder geen hoger tekortrisico accepteert, moet opgedreven worden tot

$$\frac{0,9403}{0,8732} \times 70 \text{ dagen} = 75,38 \text{ dagen,}$$

hetgeen een kostprijs oplevert van $(75,38 \times 9,87) = 744$ euro per container.

Een en ander heeft tot gevolg dat de totale logistieke kostprijs van het gecombineerd vervoer oploopt tot 1.128,09 euro per container (zie tabel 5).

Tabel 5. *Vergelijking wegvervoer en gecombineerd vervoer bij een frequentie van drie afvaarten per week (kostprijs per container).*

	Wegvervoer	Gecombineerd vervoer
Transportkosten	223,10 euro	223,10 euro
Douanekosten	70,00 euro	40,00 euro
Cyclische voorraadkosten	9,48 euro	9,48 euro
Voorraadkosten tijdens het vervoer	101,37 euro	111,51 euro
Kosten van veiligheidsvoorraad	690,90 euro	744,00 euro
Totale logistieke kostprijs	1.094,85 euro	1.128,09 euro

Terwijl het gecombineerd vervoer bij een hoge frequentie van zes afvaarten per week nog ongeveer 10 euro per container goedkoper was dan het rechtstreeks wegvervoer, is het bij een frequentie van slechts drie afvaarten per week ruim 33 euro per container duurder. Anders gezegd: een halvering van de frequentie doet de balans hier weer omslaan in het voordeel van het wegvervoer.

In tabel 6 vindt men een overzicht van de totale logistieke kostprijs van het gecombineerd vervoer voor een aantal verschillende afvaartfrequenties tussen Antwerpen en Meerhout (wegens afrondingen kunnen deze cijfers licht afwijken van de cijfers die men terugvindt in de tabellen 4 en 5).

Tabel 6. Totale logistieke kostprijs gecombineerd vervoer bij verschillende afvaartfrequenties tussen Antwerpen en Meerhout (euro per container).

	Aantal afvaarten per week tussen Antwerpen en Meerhout						
	7	6	5	4	3	2	1
Transportkosten	223,10	223,10	223,10	223,10	223,10	223,10	223,10
Douanekosten	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Cyclische voorraadkosten	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48
Voorraadkosten tijdens het vervoer	106,96	107,53	108,33	109,53	111,53	115,53	127,51
Kosten van veiligheidsvoorraad	700,90	704,53	710,50	721,37	744,32	806,28	1.081,15
Totale logistieke kostprijs	1.080,45	1.084,65	1.091,42	1.103,49	1.128,43	1.194,39	1.481,25

De laagste totale logistieke kostprijs vindt men, zoals verwacht, terug bij de hoogste frequentie (in dit geval zeven afvaarten per week). Een frequentieverlaging drijft de totale logistieke kostprijs op. Als men de cijfers in tabel 6 van naderbij analyseert, dan merkt men dat de impact van een dergelijke frequentieverlaging steeds groter wordt naarmate men de frequentie steeds verder afbouwt. Het verminderen van de frequentie van zeven naar zes afvaarten per week veroorzaakt een stijging in de totale logistieke kostprijs met ongeveer 4 euro per container. Vermindert men verder van zes naar vijf afvaarten per week, dan stijgt de totale logistieke kostprijs met bijna 7 euro per container. Nog een stap verder gaan en de frequentie terugbrengen tot vier afvaarten per week, drijft de totale logistieke kostprijs op met 12 euro per container. Het effect wordt dus steeds groter als men de frequentie steeds verder afbouwt.

De grootste impact situeert zich bij een frequentieverlaging van twee afvaarten naar één afvaart per week. De totale logistieke kostprijs verhoogt in dat geval met bijna 287 euro per container. Dit is eenvoudig te verklaren. Een frequentieverlaging van twee afvaarten naar één afvaart per week, doet de gemiddelde wachttijd op een afvaart van het binnenschip ineens verdubbelen van 1,75 tot 3,5 dagen. De variantie van de wachttijd loopt op van $(3,5^2/12) = 1,0208$ naar $(7^2/12) = 4,0833$. Dit heeft uiteraard een grote impact op de voorraad tijdens het vervoer en op de veiligheidsvoorraad (cf. formule (2)).

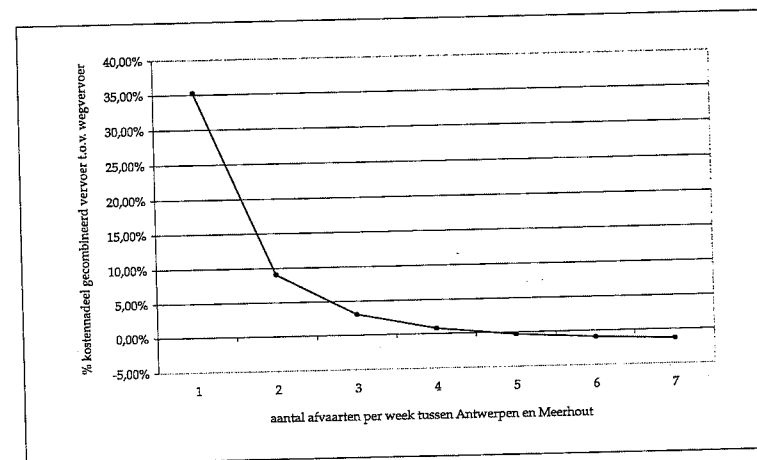
Men kan de redenering uiteraard ook omkeren. De totale logistieke kostprijs van het gecombineerd vervoer is het hoogst bij een frequentie van

slechts één afvaart per week. Door het opvoeren van de frequentie kan men de kostprijs verminderen, maar daarbij treden afnemende voordelen op. Een verhoging van één afvaart per week naar twee afvaarten per week doet de totale logistieke kostprijs ineens dalen met bijna 287 euro per container. Verhoogt men verder tot drie afvaarten per week, dan levert dit een bijkomende besparing op van ongeveer 66 euro per container. Gaat men nog een stap verder en drijft men de frequentie op tot vier afvaarten per week, dan verlaagt de kostprijs met ongeveer 25 euro per container. Het effect wordt dus steeds kleiner naarmate men de frequentie steeds verder verhoogt.

Vergelijkt men de gegevens uit tabel 6 met de totale logistieke kostprijs van het wegvervoer (1.094,85 euro per container), dan ziet men dat in deze specifieke gevalstudie een frequentie van minimaal vijf afvaarten per week vereist is om het gecombineerd vervoer concurrentieel te houden ten opzichte van het wegvervoer. Als de frequentie slechts vier afvaarten per week bedraagt (of minder), en de ondernemer houdt bij zijn beslissingen rekening met de impact op de totale logistieke kostprijs, dan kiest hij voor het rechtstreeks wegvervoer.

Het procentuele kostenverschil tussen het wegvervoer en het gecombineerd vervoer wordt weergegeven in figuur 2. Hieruit blijkt dat het ge-

Figuur 2. Procentueel kostennadeel gecombineerd vervoer t.o.v. rechtstreeks wegvervoer.



combineerd vervoer bij een frequentie van slechts één afvaart per week ruim 35% duurder is dan het wegvervoer. Verdubbelt men de frequentie tot twee afvaarten per week, dan daalt het kostennadeel tot ongeveer 9%. Bij drie afvaarten per week is het gecombineerd vervoer nog slechts 3% duurder dan het rechtstreeks wegvervoer. Men ziet dat de balans omslaat in het voordeel van het gecombineerd vervoer vanaf een frequentie van vijf afvaarten per week. Het kostenvoordeel blijft echter gering: bij een frequentie van zeven afvaarten per week is het gecombineerd vervoer nauwelijks 1% goedkoper dan het rechtstreeks wegvervoer. Dit toont, althans wat deze specifieke gevalstudie betreft, nogmaals het belang aan van een frequente dienstverlening in het gecombineerd binnenvaart/wegvervoer van containers.

3. Conclusie

In deze bijdrage werd aan de hand van een concreet voorbeeld aange- toond welke rol voorraden en levertijden spelen bij de keuze van een vervoerswijze. Voorraadkosten vormen, zeker bij het vervoer van hoog- waardige goederen, een belangrijk element van de totale logistieke kost- prijs, en mogen dan ook niet verwaarloosd worden bij een logistieke kostenvergelijking tussen verschillende vervoerswijzen.

In de gevalstudie werd een kostenvergelijking gemaakt tussen het recht- streeks wegvervoer en het gecombineerd binnenvaart/wegvervoer voor het transport van containers vanuit de Antwerpse haven naar het hinter- land. De frequentie waarmee gevaren wordt tussen de haven van Ant- werpen en de inland-containerterminal speelde daarbij een belangrijke rol. Het gecombineerd vervoer was bij de huidige frequentie van zes af- vaarten per week goedkoper dan het rechtstreeks wegvervoer, maar een halvering van de frequentie zou de kostprijs van het gecombineerd ver- voer zodanig opdrijven, dat de balans weer zou omslaan in het voordeel van het vervoer per vrachtwagen. Een hoge frequentie was in deze ge- valstudie dus van groot belang om het gecombineerd vervoer concu- rentieel te houden ten opzichte van het rechtstreeks wegvervoer.

Het is duidelijk dat de argumentatie uit deze bijdrage ook kan worden toegepast op andere vormen van gecombineerd vervoer, bijvoorbeeld het gecombineerd spoor/wegvervoer van containers van de zeehavens naar het hinterland: ook daar zal de frequentie waarmee gereden wordt

een belangrijke rol spelen bij het bepalen van de concurrentiekracht van het gecombineerd vervoer ten opzichte van het rechtstreeks wegvervoer.

De relevantie van het huidig onderzoek situeert zich voornamelijk op twee vlakken. In de eerste plaats kan dit onderzoek nuttig zijn voor de betrokken bedrijven zelf. De ervaring leert ons immers dat de intuïtie van logistieke managers bij de keuze van een vervoerswijze in de meeste gevallen wel tot goede oplossingen leidt, maar een meer formele en exacte berekening van de totale logistieke kostprijs kan helpen om be- slissingen te onderbouwen en fijner af te stellen.

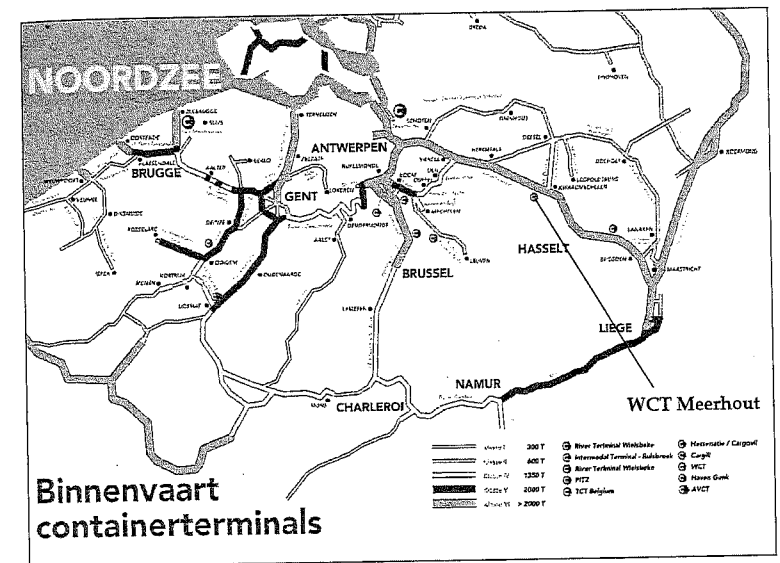
In de tweede plaats levert het onderzoek inzichten op voor de voorspel- ling van globale reacties op de hele vervoersmarkt. Door de logistieke kostenvergelijking op een representatief staal van bedrijven toe te pas- sen, krijgen we inzicht in de reacties die de totale markt kan vertonen, wanneer bijvoorbeeld nieuwe containerlijnen geopend worden, of ver- voerprijzen veranderen, of de snelheid en stiptheid van het grensover- schrijdend spoorvervoer verbeterd, enz.

Referenties

- BALLOU, R.H. (1999), *Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*, Upper Saddle River (NJ), Prentice-Hall, 681 blz.
- BAUMOL, W.J. en H.D. VINOD (1970), "An inventory theoretic model of freight transport demand", *Management Science*, jg. 16, nr. 7, blz. 413-421.
- BLAUWENS, G. (1991), "De logistieke keuze tussen weg en binnenvaart voor het containervervoer van en naar de zeehavens", *Economisch en Sociaal Tijdschrift*, jg. 45, nr. 3, blz. 445-459.
- BLAUWENS, G., P. DE BAERE en E. VAN DE VOORDE (2001), *Vervoerseconomie*, Antwerpen, MIM, 555 blz.
- BLAUWENS, G. (2000), "Logistieke analyse van transportbeslissingen in bedrij- ven", Postacademische Opleiding "Logistiek en Mobiliteit: een praktijk- gerichte aanpak", Gent, Instituut voor Permanente Vorming & Universiteit Gent (Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Instituut voor Duurzame Mobiliteit).
- BLAUWENS, G., *Promotie van de binnenvaart als alternatief voor het wegvervoer*, mimeo.
- COYLE, J.J., E.J. BARDI en C.J. LANGLEY (1996), *The Management of Business Logistics*, New York, West Publishing Co., 631 blz.
- CUNNINGHAM, W.H.J. (1982), "Freight modal choice and competition in transpor- tation: a critique and categorization of analysis techniques", *Transportation Journal*, jg. 21 (Summer), blz. 66-75.

- FETTER, R.B. en W.C. DALLECK (1961), *Decision Models for Inventory Management*, Homewood (Illinois), Irwin, 123 blz.
- LAMBRECHT, M. (1999), *Voorraadbeheer*, Deurne, Wolters Plantyn, 203 blz.
- MACHARIS, C. en A. VERBEKE (1999), *Intermodaal vervoer: Economische en strategische aspecten van het intermodaal vervoer in Vlaanderen*, Leuven, Garant, 211 blz.
- MACHARIS, C. en A. VERBEKE (2001), "Het intermodale transportsysteem vergeleken met het unimodale wegvervoer", *Tijdschrift voor Economie en Management*, jg. 46, nr. 1, blz. 39-63.
- MCGINNIS, M.A. (1989), "A comparative evaluation of freight transportation models", *Transportation Journal*, jg. 29, nr. 2, blz. 36-46.
- SHEFFI, Y., B. ESKANDARI en H.N. KOUTSOPOULOS (1988), "Transportation mode choice based on total logistics costs", *Journal of Business Logistics*, jg. 9, nr. 2, blz. 137-154.
- TYWORTH, J.E. (1991), "The inventory theoretic approach in transportation selection models: a critical review", *The Logistics and Transportation Review*, jg. 27, nr. 4, blz. 299-318.
- VAN GOOR, A.R., A.H.L.M. KRUIJTZER en G.W. ESMEIJER (2000), *Goederenstroombesturing, voorraadbeheer en materials handling*, Houten, Stenfert Kroese, 530 blz.
- VAN NUFFELEN, C. (1998), *Statistiek I*, Berlaar, Steylaerts, 401 blz.
- VERNIMMEN, B. en F. WITLOX (2001), *Using an inventory-theoretic approach for modal choice: a case study*, Research Paper 2001-030, Faculteit TEW UFSLA-RUCA, Universiteit Antwerpen.
- WINSTON, C. (1983), "The demand for freight transportation: models and applications", *Transportation Research Part A*, jg. 17, nr. 6, blz. 419-427.

Bijlage 1. Containerterminal Meerhout.



Bron: Promotie Binnenvaart Vlaanderen.

Overslagcijfers Containerterminal Meerhout

Jaar	TEU	groei
1996	6.000	
1997	43.110	618,50%
1998	52.772	22,41%
1999	80.611	52,75%
2000	107.817	33,75%
2001	108.043	0,21%

Bron: WCT Meerhout.

De terminal werd op 31 mei 1996 geopend.

Bijlage 2. De continue uniforme verdeling.

Stelling

Als de variabele X continu uniform verdeeld is in het interval (a,b) , dan geldt:

$$\text{Var}(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Bewijs

Als X continu uniform verdeeld is in het interval (a,b) , dan geldt (Van Nuffelen, 1998, blz. 292):

$$E(X) = \int_a^b X \frac{1}{b-a} dX \text{ en } E(X^2) = \int_a^b X^2 \frac{1}{b-a} dX$$

Aangezien $\text{Var}(X) = E(X^2) - [E(X)]^2$, hebben we

$$\text{Var}(X) = \int_a^b X^2 \frac{1}{b-a} dX - \left(\int_a^b X \frac{1}{b-a} dX \right)^2$$

Uitwerking van de beide integralen leidt tot

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{b-a} \left[\frac{X^3}{3} \right]_a^b - \left(\frac{1}{b-a} \left[\frac{X^2}{2} \right]_a^b \right)^2 = \frac{b^3 - a^3}{3(b-a)} - \left(\frac{b^2 - a^2}{2(b-a)} \right)^2$$

Dit geeft

$$\text{Var}(X) = \frac{b^2 + ab + a^2}{3} - \left(\frac{b+a}{2} \right)^2 = \frac{4b^2 + 4ab + 4a^2}{12} - \frac{3b^2 + 6ab + 3a^2}{12} = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Toepassing

In de huidige situatie worden zes afvaarten per week aangeboden tussen de Antwerpse haven en de terminal van Meerhout. Dit houdt in dat de wachttijd op een afvaart van het binnenschip kan variëren van 0 dagen tot 1,1666 dagen, elk met een gelijke kans. Substitueren we deze twee getallen in de bovenstaande formule, dan bekomen we:

$$\text{Gemiddelde wachttijd} = \frac{0+1,1666}{2} = 0,5833 \text{ dagen}$$

$$\text{Variantie van de wachttijd} = \frac{(1,1666-0)^2}{12} = 0,1134$$

Een halvering van de frequentie tot drie afvaarten per week betekent dat de wachttijd op een afvaart van het binnenschip kan variëren van 0 dagen tot 2,3333 dagen, elk met een gelijke kans. Substitueren we deze getallen opnieuw in de bovenstaande formule, dan bekomen we een gemiddelde wachttijd van 1,1666 dagen met een variantie van 0,4537.

Abstract

The Importance of Frequent Sailings for Combined Transport of Containers

In this paper the choice between freight transport modes is analysed from the viewpoint of a shipper/receiver. The analysis is based on the concept of total logistics costs. This means that, when comparing different freight transport modes, not only the cost of transportation itself should be considered by the shipper, but also all other costs in the supply chain that are affected by the choice of transport mode.

The concept of total logistics costs is illustrated by means of a case study, in which a comparison is made between road haulage and combined transport for the transport of containers from the port of Antwerp to the hinterland. In the case of combined transport, the containers are shipped by inland barge from the port of Antwerp to an inland container terminal, where they are placed on a truck which brings them to their final destination.

Combined transport turns out to be the cheapest alternative from the viewpoint of total logistics costs. The high frequency of sailings that is offered between the port of Antwerp and the inland container terminal plays a very important role in this respect. We show that a halving of the current frequency would increase the total logistics costs of combined transport in such a way that the balance would turn back in favour of road haulage.