

## ABSTRACT

This paper analyses the choice between different transport modes, based on the concept of *total logistics costs*. Not only the cost of transportation itself is considered, but also all the other costs that arise in the supply chain, such as the costs of goods handling, the costs of inventory carrying, etc.

In a first case-study, based on real-market data, the choice between road haulage and inland navigation is analysed for an annual volume of 55.000 tonnes of bulk goods. In this case-study the trade-off between transport costs and inventory carrying costs is shown: inland navigation has lower transport costs, but its inventory carrying costs are higher. Due to the fact that the bulk goods considered have a low value, leading to low inventory carrying costs, inland navigation turns out to be the cheapest transport mode from the viewpoint of total logistics costs. It is shown that for goods with a significantly higher value (and thus larger inventory carrying costs), the difference in total logistics costs between both transport modes becomes very small.

In a second case-study, a comparison is made between rail transport, inland navigation and road haulage for a volume of 80.000 tonnes of bulk goods per year. Both rail transport and inland navigation require pre-carriage and/or on-carriage by truck, as well as goods handling. This increases the transport costs of both modes considerably. As a result, road haulage turns out to be the cheapest transport mode from the viewpoint of the total logistics costs. However, when a larger ship type can be deployed than the one currently used, the balance turns in favour of inland navigation.

## 1. INLEIDING<sup>1</sup>

In deze paper wordt de keuze tussen vervoersmodi geanalyseerd op basis van de *totale logistieke kostprijs*, een centraal concept uit de logistiek. Concreet houdt dit in dat we, bij een vergelijking tussen vervoersmodi, niet alleen rekening houden met de transportkosten, maar ook met alle andere kosten binnen de logistieke keten waarop transportbeslissingen een invloed uitoefenen (kosten van goederenbehandeling, voorraadkosten, ...).

Dit concept van de *totale logistieke kostprijs* wordt geïllustreerd aan de hand van twee concrete gevalstudies. De eerste gevalstudie werd uitgevoerd bij een bedrijf dat de overstap heeft gemaakt van wegvervoer naar binnenvaart voor een jaarlijks volume van 55.000 ton massagoederen. De afweging tussen transportkosten en voorraadkosten komt hier naar voren: de binnenvaart heeft lagere transportkosten dan het wegvervoer, maar haar voorraadkosten zijn hoger. Omdat de waarde van de vervoerde goederen zeer laag is, en we bijgevolg te maken hebben met lage voorraadkosten, blijkt de binnenvaart uiteindelijk de goedkoopste vervoersmodus te zijn. We tonen aan dat, in het geval van hoogwaardige goederen, de totale logistieke kostprijs van beide vervoersmodi praktisch gelijk is.

In de tweede gevalstudie komt, naast het wegvervoer en de binnenvaart, ook het spoorvervoer aan bod. We maken de logistieke kostenvergelijking tussen deze drie modi voor een totaal volume van 80.000 ton massagoederen per jaar. Bij spoorvervoer en binnenvaart is er voor- en/of natransport per vrachtwagen nodig, evenals goederenoverslag. De transportkosten van beide vervoersmodi stijgen hierdoor aanzienlijk. Eén en ander zorgt ervoor dat wegvervoer uiteindelijk de goedkoopste vervoersmodus is, bekeken vanuit het oogpunt van de totale logistieke kostprijs. Er wordt aangetoond dat de balans in het voordeel van de binnenvaart omslaat, als men een beroep kan doen op een groter scheepstype om de goederen aan te voeren.

---

<sup>1</sup> Deze paper werd geschreven in het kader van het FWO-project “Bedrijfslogistieke kosten en vervoerspolitiek: de rol van voorraden en leveringstijden bij multimodale keuze”. Dit project wordt gedeeltelijk gefinancierd door het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek van de Vlaamse Gemeenschap. Ook de UFSIA-RUCA Faculteit TEW zorgt voor financiële ondersteuning, mede via een subsidie in het kader van “UFSIA 2002”. De auteurs danken Prof. dr. E. Van de Voorde en drs. W. Dullaert voor hun opmerkingen en suggesties bij een eerdere versie van deze tekst. Het spreekt voor zich dat de auteurs volledig verantwoordelijk blijven voor de inhoud van deze bijdrage.

## 2. EEN EERSTE GEVALSTUDIE

Het bedrijf waar de voorliggende gevalstudie werd uitgevoerd, heeft de overstap gemaakt van het wegvervoer naar de binnenvaart voor een jaarlijks volume van 55.000 ton massa-goederen.

In hetgeen volgt, wordt een logistieke kostenvergelijking gemaakt tussen deze twee vervoersmodi voor deze goederentrafiek. Uitgangspunt hierbij is de zogenaamde *totale logistieke kostprijs*, een centraal concept uit de logistiek (Ballou, 1992; Sheffi *et al.*, 1988; Langley, 1980). Eerder dan te proberen om slechts één kostenelement binnen de logistieke keten te minimaliseren, beschouwen we hierbij de invloed van een transportbeslissing op de totale logistieke keten, en minimaliseren we vervolgens de totale logistieke kosten. In de volgende paragrafen komen achtereenvolgens de transportkosten, de voorraadkosten en de vaste kosten van de beide vervoersmodi aan bod.

### 2.1 Transportkosten

Voor het wegvervoer (partijgrootte 25 ton) betaalde het bedrijf in het verleden een vervoerprijs van 440 frank per ton. In dit bedrag was zowel het laden en lossen van de vrachtwagens als het eigenlijke vervoer begrepen.

De vervoerprijzen voor de binnenvaart (partijgrootte 1.200 ton) liggen aanzienlijk lager: men betaalt vandaag een vervoerprijs van 340 frank per ton, laden en lossen inbegrepen. De binnenvaart is hiermee ruim 22% goedkoper dan het wegvervoer wat betreft de transportkosten.

Louter vanuit het oogpunt van de transportkosten is de overstap van het wegvervoer naar de binnenvaart dus zeker gerechtvaardigd. Op grond van de transportkosten alleen, zou een rationele beslissingsnemer in dit geval nooit opteren voor aanvoer via vrachtwagens.

Zoals gezegd, mogen we ons echter niet alleen beperken tot een vergelijking van de transportkosten tussen de beide vervoerswijzen. Er zijn daarnaast nog een aantal andere logistieke kosten die we in de analyse moeten betrekken (*total cost concept*).

Het duidelijkste voorbeeld van deze andere logistieke kosten, waarmee rekening moet gehouden worden bij transportbeslissingen, zijn de *voorraadkosten*. Deze worden bij de keuze tussen vervoerswijzen beïnvloed op drie manieren. De keuze van een vervoerswijze heeft een weerslag op (i) de cyclische voorraadkosten, (ii) de voorraadkosten tijdens het vervoer, en (iii) de kosten van veiligheidsvoorraad (Baumol & Vinod, 1970; Das, 1974; Constable & Whybark, 1978).

Aangetoond zal worden dat de voorraadkosten, in tegenstelling tot de transportkosten, in het nadeel uitvallen van het vervoer over water. Er bestaat dus een *trade-off* tussen deze beide logistieke kosten (cf. Buffa & Reynolds, 1977; Blumenfeld *et al.*, 1985b; Sheffi *et al.*, 1988). Of de uiteindelijke balans in het voordeel van het wegvervoer dan wel de binnenvaart zal overhellen, zal mede afhangen van hoe zwaar deze beide kosten doorwegen in de totale logistieke kostprijs.

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 vier 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) intrestkosten, (ii) ontwaarding van de goederen, (iii) verzekeringskosten, en (iv) magazijnkosten.

### *(i) intrestkosten*

In de goederen die in voorraad gehouden worden, ligt geld vast, dat niet gebruikt kan worden voor investeringen of beleggingen. Deze gederfde interest nemen we op bij de voorraadkosten (Lambrecht, 1999, blz. 11; Van Goor, *et al.*, 2000, blz. 203).

Voor de berekening van de intrestkosten mag men de intrestvoet slechts tellen in de mate dat hij de gemiddelde prijsstijging overtreft. Men beschouwt dus niet de nominale

intrestvoet, maar wel de reële intrestvoet, zijnde de intrestvoet boven inflatie (Blauwens, 1991, blz. 448). We nemen hier aan dat deze intrestvoet 5% op jaarbasis bedraagt<sup>2</sup>.

Deze intrestvoet moet toegepast worden op de waarde die in een eenheid van het goed geïnvesteerd is. De waarde van de goederen bedraagt in dit specifieke geval 1.050 frank per ton. Het in voorraad houden van één ton van deze goederen kost dus 52,50 frank per jaar, of ongeveer 0,14 frank per dag, aan intrestkosten. Deze lage uitkomst hoeft niet te verwonderen, gezien de lage waarde van de goederen in kwestie (zie ook punt 2.6).

(ii) ontwaardingskosten

Ontwaarding van de goederen kan ontstaan door fysische 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 volledig incurant of onverkoopbaar. Denk bijvoorbeeld aan modekleding of computeronderdelen. De ontwaardingskosten zijn bij deze goederen zeer hoog.

Voor de massagoederen die we hier beschouwen ligt de situatie anders. Ze zijn helemaal niet aan fysische of economische ontwaarding onderhevig. We houden in onze berekening dan ook geen rekening met ontwaardingskosten.

(iii) verzekeringskosten

Als men de goederen verzekert tegen brand of diefstal en als de verzekeringspremie afhangt van de kwantiteit die in voorraad ligt, dan is de bijkomende jaarpremie per eenheid van het goed een element van de voorraadkosten.

Het bedrijf in kwestie heeft echter geen dergelijke verzekering tegen brand of diefstal afgesloten. In feite zouden we in dit geval een nauwgezette berekening moeten maken van het brand- of diefstalrisico dat de ondernemer zelf loopt (Blauwens *et al.*, 2001, blz. 243).

---

<sup>2</sup> De kapitaalmarkt in vele Westerse landen, als men een gemiddelde maakt over vele jaren, vertoont een reële intrest van 4 à 5 procent. Men zou dat percentage dan ook kunnen voorstellen voor de berekening van de reële intrest in bedrijven die voorraden aanleggen. Het is evident dat er wat dit betreft verschillen zullen zijn van de ene onderneming tot de andere.

De kans op diefstal of brand is bij de goederen in kwestie echter uiterst klein, zodat het risico dat de ondernemer zelf loopt eigenlijk te verwaarlozen is. We nemen dan ook geen verzekeringskosten op bij de berekening van de voorraadkosten.

Het bedrijf heeft wel een verzekering afgesloten voor de magazijnen waarin de goederen gestockeerd worden. Het betreft hier een vast bedrag op jaarbasis, onafhankelijk van de hoeveelheid goederen die in voorraad ligt. Deze kosten worden dan ook besproken bij de vaste kosten (cf. punt 2.3).

(iv) magazijnkosten

In het verleden, toen de goederen nog aangevoerd werden per vrachtwagen, beschikte het bedrijf over een aantal kleine opslagplaatsen om die goederen op te slaan. Bij de overschakeling naar de binnenvaart heeft men moeten investeren in een nieuw magazijn met een aanzienlijk grotere opslagcapaciteit. Aangezien de kosten voor de bouw van al deze magazijnen éénmalig zijn en onafhankelijk van het aantal ton dat in voorraad ligt, nemen we ze niet op in de voorraadkosten. Ze komen wel aan bod bij de vaste kosten.

De voorraadkosten bestaan in dit specifieke geval dus enkel en alleen uit intrestkosten (zie tabel 1). Deze intrestkosten gelden zowel voor de voorraad tijdens het vervoer als voor de cyclische voorraad en de veiligheidsvoorraad. Of de goederen aanwezig zijn in het transport of op de plaats van bestemming, maakt voor de berekening van de intrest immers niet uit (Blauwens, *s.d.*, blz. 7).

**TABEL 1: VOORRAADKOSTEN PER TON EN PER JAAR**

Intrestkosten	52,50 Bef
Ontwaardingskosten	0 Bef
Verzekeringskosten	0 Bef
Magazijnkosten	0 Bef
<b>Totale voorraadkosten</b>	<b>52,50 Bef</b>

Aan de hand van deze gegevens, kunnen we nu overgaan tot de berekening van de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad.

### 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 aangevoerde goederen zullen dus een tijd in voorraad liggen. Het verloop van die voorraad is cyclisch.

Onmiddellijk na aankomst van de partij goederen bedraagt deze cyclische voorraad de totale bestelkwantiteit. Tegen het einde van de bestelcyclus, op het moment dat de volgende voorraadaanvulling plaatsvindt, is de cyclische voorraad gereduceerd tot nul. Hieruit leidt men af dat, gemiddeld gezien, de halve bestelkwantiteit in cyclische voorraad ligt<sup>3</sup>.

Dit heeft uiteraard gevolgen voor de keuze van de vervoerswijze. Het is evident dat de overschakeling van wegvervoer naar binnenvaart, wegens het aanzienlijke verschil in partijgrootte (25 ton versus 1.200 ton), bijkomende kosten van cyclische voorraadvorming met zich meebrengt.

Bij de aanvoer via vrachtwagens is de partijgrootte 25 ton, zodat gemiddeld gezien 12,5 ton in cyclische voorraad ligt<sup>4</sup>. Op jaarbasis levert dit een kostprijs op van

$$12,5 \text{ ton} \times 52,50 \text{ frank per ton per jaar} = 656,25 \text{ frank per jaar}$$

Aangezien men per jaar 55.000 ton massagoederen behandelt, is dat een kostprijs van 0,01 frank per ton, een zeer klein bedrag.

---

<sup>3</sup> Als de schommelingen in het verbruiksritme een systematisch verband vertonen met het binnenkomen van de ladingen, als deze schommelingen met andere woorden geen toevallig karakter vertonen, dan wordt deze regel gebroken (Blauwens *et al.*, 2001, blz. 247).

<sup>4</sup> We maken hier de veronderstelling dat een aanlevering per vrachtwagen plaatsvindt op het moment dat de hoeveelheid goederen aangevoerd door de vorige vrachtwagen volledig opgebruikt is.

Bij de aanvoer via binnenschepen zijn de cyclische voorraadkosten veel hoger. De verzendkwantiteit schommelt bij deze vervoersmodus immers rond de 1.200 ton, zodat er gemiddeld gezien 600 ton in cyclische voorraad ligt. Dit levert een kostprijs op van

$$600 \text{ ton} \times 52,50 \text{ frank per ton per jaar} = 31.500 \text{ frank per jaar}$$

of 0,57 frank per ton.

De cyclische voorraadkosten zijn dus een rem op het opvoeren van de partijgrootte. Men ziet hier de afweging die men moet maken tussen transportkosten enerzijds en voorraadkosten anderzijds: wie transportkosten wil besparen door aan te voeren in grotere partijen via een binnenschip, moet rekening houden met bijkomende kosten van cyclische voorraad die inherent zijn aan het gebruik van deze vervoersmodus.

### 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 vermenigvuldigen met de intrestkosten (zie tabel 1).

Het is duidelijk dat voorraadkosten tijdens het vervoer aansporen tot het gebruik van snelle vervoersmodi, daar waar de cyclische voorraadkosten aanzetten tot het vervoer in kleine partijen (cf. supra). 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).

Voor de specifieke trafiek die we in deze gevalstudie bestuderen, neemt het transport per vrachtwagen, laden en lossen inbegrepen, ongeveer 4,5 uur in beslag. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen voor het wegvervoer dus

$$0,19 \text{ dagen} \times \frac{52,5}{365} \text{ frank per ton en per dag} = 0,03 \text{ frank per ton}$$



Het transport per binnenschip gebeurt uiteraard veel trager. Op basis van gegevens verstrekt door de binnenschipper, hebben we berekend dat er tussen het tijdstip van laden van het schip en het tijdstip van lossen bij de bestemming, gemiddeld gezien 4,48 dagen verstrijken. Het schip passeert op haar traject een groot aantal sluizen, en dit zorgt uiteraard voor de nodige wachttijden. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen hier dus

$$4,48 \text{ dagen} \times \frac{52,5}{365} \text{ frank per ton en per dag} = 0,64 \text{ frank per ton}$$

We kunnen concluderen dat het trage vervoer per binnenschip, in vergelijking met het snellere wegvervoer, zowel voor hogere cyclische voorraadkosten als voor hogere voorraadkosten tijdens het vervoer zorgt. In vergelijking met de transportkosten zijn deze beide voorraadkosten echter verwaarloosbaar klein<sup>5</sup>.

### 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 het bedrijf aangehouden wordt. Onder veiligheidsvoorraad (ook buffervoorraad genoemd) verstaan we de hoeveelheid goederen die gemiddeld gezien nog in voorraad ligt bij de aankomst van een voorraadaanvulling.

Men legt deze voorraad aan omdat men onzeker is over de vraag vanwege de klanten of over de aanvoertijd die zal verstrijken eer een bestelling arriveert. Omwille van 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).

De omvang van de veiligheidsvoorraad hangt af van de vervoerswijze die men kiest (cf. Gross & Soriano, 1969; Buffa & Reynolds, 1977). Als de opeenvolgende vraagniveaus onafhankelijke trekkingen zijn uit eenzelfde normale verdeling, dan moet de veiligheidsvoorraad proportioneel gehouden worden met de vierkantswortel van de aanvoertijd, teneinde het risico van een voorraadtekort niet te laten oplopen (Blauwens, 1991, blz. 450).

---

<sup>5</sup> De *trade-off* tussen transportkosten en voorraadkosten kan ook geanalyseerd worden voor één enkele vervoersmodus (*intramodaal* in plaats van *intermodaal*), cf. Burns *et al.* (1985), Blumenfeld *et al.* (1985a).

Anders gezegd: hoe langer en hoe wisselvalliger de levertijd, hoe hoger de benodigde veiligheidsvoorraad (Baumol & Vinod, 1970; Blumenfeld, *et al.*, 1985b; Bramson, 1962).

In het verleden, toen de goederen aangevoerd werden per vrachtwagen, bedroeg de totale veiligheidsvoorraad bij het bedrijf 250 ton. De kosten die hiermee samenhangen bedragen

$$250 \text{ ton} \times 52,50 \text{ frank per ton per jaar} = 13.125 \text{ frank per jaar}$$

Aangezien er op jaarbasis in totaal ongeveer 127.000 ton<sup>6</sup> goederen behandeld worden, is dit een kostprijs van 0,10 frank per ton.

Bij de overschakeling naar de binnenvaart heeft het bedrijf de veiligheidsvoorraad iets verhoogd. Hij bedraagt nu 300 in plaats van 250 ton. Dit levert een kostprijs op van

$$300 \text{ ton} \times 52,50 \text{ frank per ton per jaar} = 15.750 \text{ frank per jaar}$$

of 0,12 frank per ton.

### 2.3 Waste kosten

Een laatste element van de totale logistieke kostprijs zijn de vaste kosten. Deze kosten zijn opgesplitst in (i) kosten van infra- en superstructuur en (ii) verzekeringskosten voor de magazijnen waarin de goederen gestockeerd worden. Beide kosten zijn vaste bedragen op jaarbasis en dus onafhankelijk van het aantal ton dat in voorraad ligt. Vandaar dat we ze niet opnemen bij de voorraadkosten.

#### *(i) investerings in infrastructuur en superstructuur*

Om de aanvoer per binnenschip mogelijk te maken, dienden er een aantal investeringen te gebeuren in infra- en superstructuur. Wat de infrastructuurwerken (aanleg van een loskade) betreft, heeft het bedrijf kunnen genieten van de “80/20”-regeling, waarbij het Vlaams

---

<sup>6</sup> 55.000 ton voor de oorsprong-bestemmingsrelatie die wij bestuderen, en 65.000 ton van elders.

Gewest 80% van de kostprijs voor haar rekening nam. Naast deze infrastructuurwerken diende er ook geïnvesteerd te worden in materieel om het schip te lossen, en in een groot magazijn om de goederen te stockeren die per binnenschip worden aangevoerd.

Toen de goederen nog werden aangevoerd per vrachtwagen, werden ze gestockeerd in een aantal kleinere magazijnen. De gezamenlijke opslagcapaciteit en kostprijs van deze magazijnen komt ongeveer overeen met de capaciteit en kostprijs van het nieuwe magazijn dat men bij de overschakeling naar de binnenvaart gebouwd heeft.

Rekening houdende met de kostprijs van al deze investeringen en de afschrijvings-termijnen die hierop van toepassing zijn, bekomen we een bedrag van 3,46 frank per ton voor het wegvervoer en 18,15 frank per ton voor de binnenvaart.

*(ii) verzekeringskosten voor de magazijnen*

Het bedrijf heeft een verzekering afgesloten voor de magazijnen die op haar terrein staan. In het verleden werd de volledige trafiek (127.000 ton) aangevoerd via vrachtwagens. De jaarlijkse verzekeringskosten bedroegen toen 7.000 frank. Dit komt overeen met

$$7.000 \text{ frank per jaar} / 127.000 \text{ ton per jaar} = 0,06 \text{ frank per ton}$$

Bij de overschakeling naar de binnenvaart, heeft men geïnvesteerd in een nieuw magazijn. De verzekeringskosten liepen hierdoor op van 7.000 frank per jaar naar 14.000 frank per jaar. Dit is een kostprijs van

$$14.000 \text{ frank per jaar} / 127.000 \text{ ton per jaar} = 0,11 \text{ frank per ton}$$

Tellen we al de vaste kosten bij elkaar op, dan bekomen we voor het wegvervoer een bedrag van 3,52 frank per ton, en voor de binnenvaart een bedrag van 18,26 frank per ton.

## 2.4 Totale logistieke kostprijs

Op basis van de hierboven berekende gegevens, kunnen we de totale logistieke kostprijs becijferen voor de aanvoer van de massagoederen via wegvervoer of binnenvaart. Deze kostprijs, die opgebouwd is uit transportkosten, voorraadkosten en vaste kosten, wordt weergegeven in tabel 2.

Men merkt dat de overstap van het wegvervoer naar de binnenvaart duidelijk te rechtvaardigen is vanuit het standpunt van de totale logistieke kostprijs. Het verschil tussen beide vervoerswijzen bedraagt bijna 85 frank per ton. Anders gezegd: de binnenvaart is bijna 20% goedkoper dan het wegvervoer.

Het wegvervoer heeft weliswaar lagere voorraadkosten en lagere vaste kosten, maar het kostenverschil van ongeveer 15 frank per ton is totaal ontoereikend om het nadeel in transportkosten (100 frank per ton) te compenseren, en de balans in haar voordeel te doen omslaan.

**TABEL 2: VERGELIJKING WEGVERVOER EN BINNENVAART (KOSTPRIJS PER TON)**

	<b>Wegvervoer</b>	<b>Binnenvaart</b>
Transportkosten	440 Bef	340 Bef
Cyclische voorraadkosten	0,01 Bef	0,57 Bef
Voorraadkosten tijdens vervoer	0,03 Bef	0,64 Bef
Kosten van veiligheidsvoorraad	0,10 Bef	0,12 Bef
Vaste kosten (infrastructuur, superstructuur en verzekering)	3,52 Bef	18,26 Bef
<b>Totale logistieke kostprijs</b>	<b>443,66 Bef</b>	<b>359,59 Bef</b>

## 2.5 Doeltreffendheid van de “80/20”-regeling

Zoals gezegd, heeft het bedrijf bij de bouw van de loskade kunnen genieten van financiële steun door het Vlaams Gewest. Deze instantie heeft 80% van de totale investering voor haar rekening genomen. Met deze subsidie hoopt het Vlaams Gewest bij te dragen aan een modal shift van het milieubelastende wegvervoer naar de milieuvriendelijke binnenvaart.

Een snelle berekening leert ons dat de subsidie eigenlijk niet nodig was om de balans van het wegvervoer naar de binnenvaart te doen omslaan. Als we opnieuw rekenen met dezelfde afschrijvingstermijnen voor infrastructuur (met dan de volledige kostprijs) en superstructuur, dan lopen de vaste kosten voor de binnenvaart op van 18,26 frank per ton naar 34,93 frank per ton.

De totale logistieke kostprijs van de binnenvaart zou hierdoor toenemen van 359,59 frank per ton naar 376,26 frank per ton. Dit is nog steeds aanzienlijk goedkoper (bijna 68 frank per ton) dan het wegvervoer. Met andere woorden: zelfs zonder de subsidie van het Vlaams Gewest blijft de overstap naar binnenvaart hier gerechtvaardigd vanuit het oogpunt van de totale logistieke kostprijs.

## 2.6 Laagwaardige versus hoogwaardige goederen

Tabel 2 toont aan dat de voorraadkosten, in vergelijking met de transportkosten, in deze gevalstudie slechts een zeer klein deel uitmaken van de totale logistieke kostprijs. Voor de beide vervoersmodi bedraagt het aandeel van de voorraadkosten minder dan 0,5%. Dit heeft uiteraard te maken met de specifieke situatie die we hier bestuderen: we beschouwen de trafiek van laagwaardige grondstoffen, waarvoor dan nog enkel de intrestlasten moeten geteld worden bij de berekening van de voorraadkosten.

Het spreekt voor zich dat het verschil in logistieke kostprijs tussen wegvervoer en binnenvaart kleiner zal zijn in het geval van hoogwaardige goederen die bovendien onderhevig zijn aan ontwaardingskosten.

In het volgende (hypothetisch) rekenvoorbeeld wordt één en ander verduidelijkt. We kiezen hierbij de waarde van de goederen zodanig dat de totale logistieke kostprijs voor de beide vervoersmodi praktisch gelijk is.

Stel dat de waarde van de goederen geen 1.050 frank per ton maar 25.000 frank per ton zou bedragen. Stel bovendien dat deze goederen een beperkte levenscyclus hebben, en onderhevig zijn aan een geleidelijke economische ontwaarding: er is een jaarlijkse kans van 10% dat de goederen onverkoopt worden. We moeten hier dus een ontwaardingskost van 10% per jaar mee opnemen in de voorraadkosten.

Het is duidelijk dat de jaarlijkse voorraadkosten van deze goederen aanzienlijk hoger zullen liggen dan de 52,50 frank per ton die we in onze bovenstaande berekeningen beschouwden. Ten eerste zal er een gevoelige stijging zijn in de intrestkosten: deze zullen oplopen van 52,50 frank naar 1.250 frank per ton per jaar. De ontwaardingskosten zullen geen 0 frank maar 2.500 frank per ton per jaar bedragen. De totale voorraadkosten zullen hierdoor oplopen van 52,50 frank naar 3.750 frank per ton per jaar (zie tabel 3).

**TABEL 3: VOORRAADKOSTEN PER TON EN PER JAAR**  
**(HOOGWAARDIGE GOEDEREN, ONDERHEVIG AAN ONTWAARDING)**

Intrestkosten	1.250 Bef
Ontwaardingskosten	2.500 Bef
Verzekeringskosten	0 Bef
Magazijnkosten	0 Bef
<b>Totale voorraadkosten</b>	<b>3.750 Bef</b>

Dit heeft uiteraard gevolgen voor de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad voor de beide vervoersmodi. De onderstaande berekeningen maken dit duidelijk. Vooral bij de binnenvaart, waarbij aangevoerd wordt in grote partijen en waar de levertijd enkele dagen bedraagt, is er een grote stijging in de totale voorraadkosten.

(i) wegvervoer (hoogwaardige goederen)

(a) De cyclische voorraadkosten komen uit op

$$\frac{12,5 \text{ ton} \times 3.750 \text{ frank per ton per jaar}}{55.000 \text{ ton per jaar}} = 0,85 \text{ frank per ton}$$

(b) De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen

$$0,19 \text{ dagen} \times \frac{3.750}{365} \text{ frank per ton per dag} = 1,95 \text{ frank per ton}$$

(c) De kosten van veiligheidsvoorraad komen uit op

$$\frac{250 \text{ ton} \times 3.750 \text{ frank per ton per jaar}}{127.000 \text{ ton per jaar}} = 7,38 \text{ frank per ton}$$

De totale voorraadkosten nemen bij het wegvervoer dus toe van 0,14 frank per ton tot 10,18 frank per ton.

(ii) binnenvaart (hoogwaardige goederen)

(a) De cyclische voorraadkosten bedragen

$$\frac{600 \text{ ton} \times 3.750 \text{ frank per ton per jaar}}{55.000 \text{ ton per jaar}} = 40,91 \text{ frank per ton}$$

(b) De voorraadkosten tijdens het vervoer komen uit op

$$4,48 \text{ dagen} \times \frac{3.750}{365} \text{ frank per ton per dag} = 46,03 \text{ frank per ton}$$

(c) De kosten van veiligheidsvoorraad komen uit op

$$\frac{300 \text{ ton} \times 3.750 \text{ frank per ton per jaar}}{127.000 \text{ ton per jaar}} = 8,86 \text{ frank per ton}$$

De totale voorraadkosten nemen bij de binnenvaart dus drastisch toe: van 1,33 frank per ton bij de laagwaardige goederen tot 95,80 frank per ton bij hoogwaardige goederen.

De totale logistieke kostprijs van wegvervoer en binnenvaart voor de hoogwaardige goederen wordt weergegeven in tabel 4. Zoals gezegd, zijn de waarde van de goederen en de bijhorende voorraadkosten met opzet zo gekozen, dat er geen verschil in totale logistieke kostprijs is tussen de beide vervoerswijzen. Het voordeel in transportkosten dat de binnenvaart heeft ten opzichte van het wegvervoer, wordt volledig tenietgedaan door de hogere voorraadkosten en hogere vaste kosten.

Het is duidelijk dat, bij massagoederen met nog hogere voorraadkosten<sup>7</sup>, de balans uiteindelijk in het voordeel van het wegvervoer kan omslaan.

**TABEL 4: VERGELIJKING WEGVERVOER EN BINNENVAART (KOSTPRIJS PER TON)**  
**VOOR HOOGWAARDIGE GOEDEREN (HYPOTHETISCH)**

	<b>Wegvervoer</b>	<b>Binnenvaart</b>
Transportkosten	440,00 Bef	340,00 Bef
Cyclische voorraadkosten	0,85 Bef	40,91 Bef
Voorraadkosten tijdens vervoer	1,95 Bef	46,03 Bef
Kosten van Veiligheidsvoorraad	7,38 Bef	8,86 Bef
Vaste kosten (infrastructuur, superstructuur en verzekering)	3,52 Bef	18,26 Bef
<b>Totale logistieke kostprijs</b>	<b>453,70 Bef</b>	<b>454,06 Bef</b>

<sup>7</sup> Denk hier bijvoorbeeld aan hoogwaardige chemische producten.



Men herinnert zich dat de “80-20”-regeling geen doorslaggevende rol speelde bij de vergelijking tussen wegvervoer en binnenvaart in het geval van de laagwaardige goederen. Ook zonder de subsidie zou de binnenvaart daar de laagste totale logistieke kostprijs opleveren (cf. punt 2.5).

Bij de hoogwaardige goederen is dit niet langer het geval. Als het bedrijf niet zou kunnen genieten van de subsidie en dus de volledige kostprijs van de loskade voor haar rekening zou moeten nemen, dan zou de totale logistieke kostprijs van de binnenvaart oplopen tot 470,73 frank per ton, hetgeen hoger is dan de totale logistieke kostprijs van het wegvervoer. Met andere woorden: in het geval van de hoogwaardige goederen is de subsidie in het kader van de “80-20”-regeling van doorslaggevend belang om de binnenvaart concurrentieel te houden met het wegvervoer.

### 3. EEN TWEEDE GEVALSTUDIE

In deze tweede gevalstudie wordt een logistieke kostenvergelijking gemaakt tussen spoorvervoer, binnenvaart en wegvervoer. Het betreft een trafiek van 80.000 ton massa-goederen op jaarbasis. Het bedrijf in kwestie maakt gebruik van elk van de drie vervoersmodi. In tegenstelling tot de vorige gevalstudie, is er hier dus (nog) geen modale verschuiving gebeurd tussen vervoersmodi.

Uitgangspunt bij onze analyse is opnieuw het zogenaamde *total cost concept*. Net als bij de vorige gevalstudie, bestuderen we ook hier de transportkosten, voorraadkosten en vaste kosten die samenhangen met de drie vervoersmodi.

#### 3.1 Transportkosten

##### *(i) spoorvervoer*

Indien het bedrijf in kwestie de totale goederenstroom zou aanvoeren via het spoor (partijgrootte 1.300 ton), zou men een vervoerprijs van 18,77 euro per ton betalen. Naast de prijs voor het eigenlijke spoorvervoer bevat dit bedrag ook de kosten van voortransport, goederenbehandeling en natransport.

De totale levertijd van het spoorvervoer bedraagt 2,95 dagen met een variantie van 1,39 dagen.

##### *(ii) binnenvaart*

Wegens de beperkte diepgang van enkele waterwegen op het traject dat door het binnenschip wordt gevolgd, is deze vervoersmodus beperkt tot partijgroottes van ongeveer 260 ton (*Spitsen*). Voor deze vervoersmodus betaalt men een vervoerprijs van 16,40 euro per ton. Ook hier is voortransport en goederenbehandeling in de prijs begrepen.

Bij de binnenvaart moet men wel rekening houden met een aanzienlijk langere levertijd dan bij het spoorvervoer. Tussen het tijdstip van laden van het binnenschip en het tijdstip van lossen verstrijken er gemiddeld gezien 10,01 dagen. De variantie van de levertijd bedraagt 2,28 dagen.

Eén en ander heeft te maken met het feit dat het binnenschip op haar traject zeer veel sluizen moet passeren, hetgeen gepaard gaat met de nodige wachttijden. Een ander element dat meespeelt, zijn wachttijden aan de loskade bij de bestemming, wanneer andere schepen prioriteit krijgen bij lossing.

### *(iii) wegvervoer*

In tegenstelling tot het spoorvervoer en de binnenvaart, moeten er bij het wegvervoer (partijgrootte 26 ton) uiteraard geen kosten van voorttransport, overslag of natransport geteld worden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat deze vervoersmodus de laagste transportkosten heeft: de vervoerprijs bedraagt hier 15,25 euro per ton.

De gemiddelde levertijd bedraagt bij het wegvervoer 1,43 dagen, met een variantie van 2,24 dagen.

Louter vanuit het oogpunt van de transportkosten zou men de goederen steeds moeten aanvoeren per vrachtwagen. Het wegvervoer is 1,15 euro per ton goedkoper dan de binnenvaart en 3,52 euro per ton goedkoper dan het spoorvervoer.

Zoals duidelijk gemaakt werd bij de vorige gevalstudie, mogen we ons bij een logistieke kostenvergelijking tussen vervoersmodi echter niet beperken tot een vergelijking van de transportkosten. Ook hier spelen de *voorraadkosten* een belangrijke rol bij de keuze tussen spoorvervoer, binnenvaart en wegvervoer. We bekijken opnieuw de impact 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 spoorvervoer en het vervoer over water. In vergelijking met het wegvervoer, hebben deze beide

vervoersmodi immers grotere partijen en langere levertijden. Normaal gezien zouden deze hogere voorraadkosten gecompenseerd kunnen worden door lagere transportkosten (zie vorige gevalstudie), maar zoals gezegd is dit hier – omwille van voortransport, overslag en natransport – niet het geval. Het is hier reeds duidelijk dat het wegvervoer uiteindelijk het goedkoopst zal uitkomen.

### 3.2 Voorraadkosten

#### *(i) intrestkosten*

We rekenen hier opnieuw met een reële intrestvoet van 5% op jaarbasis. De waarde van de goederen bedraagt in dit specifieke geval ongeveer 139 euro per ton. Het in voorraad houden van één ton van deze goederen kost dus 6,95 euro per jaar, of ongeveer 0,02 euro per dag, aan intrestkosten.

#### *(ii) ontwaardingskosten*

Ontwaarding van de goederen kan, zoals gezegd, ontstaan door fysieke aftakeling of bederf enerzijds en economische ontwaarding anderzijds. Net als de goederen bij de vorige gevalstudie, zijn ook de goederen die we hier beschouwen niet aan dergelijke ontwaarding onderhevig. We moeten dan ook geen ontwaardingskosten tellen.

#### *(iii) verzekeringskosten*

Wat de verzekeringskosten betreft, moeten we een onderscheid maken tussen een vaste verzekeringskost op jaarbasis voor de installaties en een variabele verzekeringskost voor de goederen.

Wat de eerste kost betreft, heeft het bedrijf een brandverzekering afgesloten van 0,063% op de vervangingswaarde van haar installaties, zijnde in totaal 13.086.000 euro. Op jaarbasis is dit dus een bedrag van

$$0,063\% \times 13.086.000 \text{ euro} = 8.244 \text{ euro}$$

Aangezien er per jaar 300.000 ton behandeld wordt, komt dit neer op een kost van 0,03 euro per ton. Dit is een vast bedrag op jaarbasis, en hangt dus niet af van de hoeveelheid goederen die in voorraad ligt. Daarom moeten we deze 0,03 euro per ton niet opnemen in de voorraadkosten. Ze worden als een aparte kostenpost behandeld (cf. punt 3.3).

De variabele verzekeringskosten, die wel afhangen van de hoeveelheid goederen die in voorraad ligt, bedragen eveneens 0,063% op de gemiddelde voorraad. Voor één ton (waarde 139 euro) bedragen de verzekeringskosten dus 0,09 euro.

(iv) magazijnkosten

Wanneer een onderneming over haar eigen magazijnen beschikt en daar voortdurend ruimte op overschot heeft, veroorzaakt bijkomende voorraad geen bijkomende magazijnkosten. Het is dan op korte termijn mogelijk de voorraden op te drijven zonder additionele voorraadkosten.

Voor de stockage van de goederen heeft het bedrijf een groot magazijn op haar terrein staan. De magazijnkosten die hiermee samenhangen zijn onafhankelijk van de hoeveelheid goederen in voorraad. We tellen dan ook geen magazijnkosten in onze berekeningen.

De verschillende elementen van de voorraadkosten worden samengevat in tabel 5.

**TABEL 5: VOORRAADKOSTEN PER TON EN PER JAAR**

Intrestkosten	6,95 euro
Ontwaardingskosten	0 euro
Verzekeringskosten	0,09 euro
Magazijnkosten	0 euro
<b>Totale voorraadkosten</b>	<b>7,04 euro</b>

Aan de hand van de gegevens in tabel 5, kunnen we nu opnieuw overgaan tot de berekening van de cyclische voorraadkosten, de voorraadkosten tijdens het vervoer en de kosten van veiligheidsvoorraad voor de drie vervoersmodi.

### 3.2.1 Cyclische voorraadkosten

#### *(i) spoorvervoer*

Net zoals de transportkosten, zijn ook de cyclische voorraadkosten het hoogst bij het spoorvervoer. De partijgrootte is bij deze vervoersmodus immers aanzienlijk groter dan bij de binnenvaart of het wegvervoer. De aanvoer in partijen van 1.300 ton maakt dat er gemiddeld gezien 650 ton in cyclische voorraad ligt. Dit levert een kostprijs op van

$$650 \text{ ton} \times 7,04 \text{ euro per ton per jaar} = 4.576 \text{ euro per jaar}$$

Aangezien de trafiek uit de regio die wij beschouwen een volume van 80.000 ton op jaarbasis vertegenwoordigt<sup>8</sup>, is dit een kostprijs van 0,06 euro per ton.

#### *(ii) binnenvaart*

De partijgrootte bedraagt bij deze vervoersmodus 260 ton (men vervoert in *Spitsen*), één vijfde dus van de partijgrootte van het spoorvervoer. Dit resulteert uiteraard in lagere cyclische voorraadkosten. Gemiddeld ligt er 130 ton in cyclische voorraad, en dit levert een kostprijs op van

$$130 \text{ ton} \times 7,04 \text{ euro per ton per jaar} = 915,2 \text{ euro per jaar}$$

of 0,01 euro per ton.

---

<sup>8</sup> De trafiek die wij beschouwen, vertegenwoordigt ongeveer 25% van de totale aanvoer voor het bedrijf (300.000 ton op jaarbasis, opgeteld over alle leveranciers).

(iii) wegvervoer

Men voert aan in partijen van 26 ton, en dit maakt dat er gemiddeld gezien slechts 13 ton in cyclische voorraad ligt. Op jaarbasis levert dit een kostprijs op van

$$13 \text{ ton} \times 7,04 \text{ euro per ton per jaar} = 91,52 \text{ euro per jaar}$$

of 0,0011 euro per ton.

De cyclische voorraadkosten zijn dus een rem op het opvoeren van de partijgrootte. Men merkt dat de “klassieke” trade-off tussen transportkosten en cyclische voorraadkosten hier niet geldt: het opvoeren van de partijgrootte leidt zowel tot hogere cyclische voorraadkosten als tot hogere transportkosten (cf. punt 3.1).

Eén en ander heeft natuurlijk te maken met de kosten van voortransport, overslag en natransport die moeten geteld worden bij spoorvervoer en binnenvaart. Als men deze kosten buiten beschouwing laat, dan komt de hogervermelde trade-off wel tot uiting: de zuivere transportkosten van het spoorvervoer blijken lager te zijn dan die van de binnenvaart, die op hun beurt lager zijn dan die van het wegvervoer.

### 3.2.2 Voorraadkosten tijdens het vervoer

(i) spoorvervoer

Gemiddeld gezien verstrijken er 2,95 dagen tussen het laden van de treinwagons en de aankomst van de goederen bij de bestemming. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen hier dan ook

$$2,95 \text{ dagen} \times \frac{7,04}{365} \text{ euro per ton en per dag} = 0,06 \text{ euro per ton}$$

(ii) binnenvaart

Het transport via de binnenvaart, wachttijden inbegrepen, gebeurt aanzienlijk trager dan het spoorvervoer. Tussen het tijdstip van laden en het tijdstip van lossen bij de bestemming verstrijken er gemiddeld gezien 10,01 dagen. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen voor deze transportmodus dus

$$10,01 \text{ dagen} \times \frac{7,04}{365} \text{ euro per ton en per dag} = 0,19 \text{ euro per ton}$$

(iii) wegvervoer

Voor het specifieke geval dat wij bestuderen, neemt het transport via vrachtwagens gemiddeld 1,43 dagen in beslag (laden en lossen inbegrepen). De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen hier dus

$$1,43 \text{ dagen} \times \frac{7,04}{365} \text{ euro per ton en per dag} = 0,03 \text{ euro per ton}$$

Er bestaat zoals men ziet een trade-off tussen binnenvaart en spoorvervoer wat betreft de cyclische voorraadkosten en de voorraadkosten tijdens het vervoer. De partijgrootte van de binnenvaart is weliswaar kleiner dan de partijgrootte van het spoorvervoer, maar haar levertijd is aanzienlijk langer.

### 3.2.3 Kosten van veiligheidsvoorraad

Het bedrijf houdt een totale veiligheidsvoorraad aan van 16.800 ton. Deze veiligheidsvoorraad moet gezien worden in relatie tot de totale jaarlijkse aanvoer van 300.000 ton. Aangezien de trafiek die wij hier beschouwen slechts 80.000 ton op jaarbasis bedraagt, maken we de veronderstelling dat de veiligheidsvoorraad voor onze specifieke trafiek

$$16.800 \times \frac{80}{300} = 4.480 \text{ ton bedraagt.}$$



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

$$VV = K \cdot \sigma$$

waarin  $\sigma$  de standaardafwijking is van de vraag tijdens de aanvoertijd en  $K$  een constante, afhankelijk van het toegelaten risico op een voorraadtekort tijdens de aanvoertijd. We kunnen  $\sigma$  berekenen met behulp van de formule van Fetter en Dalleck (1961, blz. 108):

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

waarin

- $T$  = de gemiddelde aanvoertijd in dagen
- $t$  = de variantie van de aanvoertijd in dagen
- $V$  = de gemiddelde vraag in ton
- $v$  = de variantie van de vraag in ton

De parameter  $T$  geeft hierbij een indicatie van de *snelheid* van de vervoersmodus, terwijl  $t$  een indicatie geeft van de *stiptheid*. Zoals men ziet, worden deze beide parameters gewogen met respectievelijk de variantie van de vraag ( $v$ ) en de gemiddelde vraag ( $V$ ).

In het geval dat wij hier bestuderen zijn er geen schommelingen in het dagelijks verbruik (constante productie), hetgeen betekent dat de parameter  $v$  gelijk is aan 0. Dit impliceert meteen dat de *snelheid* van de vervoersmodi geen rol speelt bij de berekening van de veiligheidsvoorraad: het product  $T \cdot v$  is steeds gelijk aan 0.

De parameter  $\sigma$  wordt dus enkel bepaald door het gemiddeld dagverbruik ( $V$ ) en de variantie van de aanvoertijd ( $t$ ). Aangezien  $t$  verschilt tussen de drie vervoersmodi (niet elke vervoermodus levert even stipt), zal de overschakeling van de beschouwde trafiek naar spoorvervoer, binnenvaart of wegvervoer verschillende waarden voor  $\sigma$  opleveren:

- (i)  $\sigma_{\text{spoor}} = 258,20$  ton
- (ii)  $\sigma_{\text{binnenvaart}} = 330,68$  ton
- (iii)  $\sigma_{\text{weg}} = 327,77$  ton

**TABEL 6: BEREKENING STANDAARDAFWIJKING VAN DE VRAAG TIJDENS DE LEVERTIJD**

	Spoorvervoer	Binnenvaart	Wegvervoer
<i>T</i>	2,95 dagen	10,01 dagen	1,43 dagen
<i>T</i>	1,39 dagen	2,28 dagen	2,24 dagen
<i>V</i>	219 ton	219 ton	219 ton
<i>V</i>	0 ton	0 ton	0 ton
<b><math>\sigma</math></b>	<b>258,20 ton</b>	<b>330,68 ton</b>	<b>327,77 ton</b>

In de huidige situatie houdt het bedrijf voor de beschouwde goederenstroom een veiligheidsvoorraad aan van 4.480 ton. De standaardafwijking van de vraag tijdens de levertijd bedraagt 305,55 ton. Met behulp van bovenstaande formule kunnen we hieruit de waarde van  $K$  berekenen, zijnde

$$K = \frac{4.480 \text{ ton}}{305,55 \text{ ton}} = 14,66$$

Deze  $K$ -waarde geeft, zoals gezegd, een indicatie van het risico dat men loopt op een voorraadtekort<sup>9</sup>. Hoe hoger de  $K$ -waarde, hoe kleiner dit risico. Het bedrijf houdt in dit specifieke geval een veiligheidsvoorraad aan die 14,66 maal de standaardafwijking van de vraag tijdens de levertijd bedraagt.

Indien we aannemen dat het bedrijf bij een integrale overstap naar één van de drie vervoersmodi geen wijziging in het risico op een voorraadtekort wenst te accepteren (en dus de  $K$ -waarde constant houdt), moet de veiligheidsvoorraad aangepast worden. Bij wegvervoer en bij binnenvaart zal hij iets verhoogd moeten worden, terwijl men bij het spoorvervoer een lagere veiligheidsvoorraad mag aanleggen<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Met behulp van een tabel van de normaalverdeling kan men uit de waarde van  $K$  het risico op een voorraadtekort per bevoorrading afleiden.

<sup>10</sup> Zoals gezegd, speelt de gemiddelde levertijd in deze specifieke gevalstudie geen rol bij de bepaling van de veiligheidsvoorraad. Voor een discussie van de invloed van de gemiddelde levertijd en de variantie van de levertijd op de logistieke kosten, zie Allen *et al.* (1985).

De berekende waarde van  $\sigma$  bedroeg bij het spoorvervoer immers 258,20 ton, wat een veiligheidsvoorraad oplevert van

$$14,66 \times 258,20 \text{ ton} = 3.785 \text{ ton.}$$

Maken we dezelfde berekening voor de binnenvaart ( $\sigma = 330,68$ ) en voor het wegvervoer ( $\sigma = 327,77$ ), dan verkrijgen we een veiligheidsvoorraad van respectievelijk 4.848 ton en 4.805 ton.

De omvang en de kosten van de veiligheidsvoorraad worden voor de drie vervoersmodi weergegeven in tabel 7.

**TABEL 7: KOSTEN VAN VEILIGHEIDSVOORRAAD VOOR DE DRIE VERVOERSMODI**

	Spoorvervoer	Binnenvaart	Wegvervoer
Veiligheidsvoorraad	3.785 ton	4.848 ton	4.805 ton
Jaarlijkse kosten veiligheidsvoorraad	26.646 euro	34.130 euro	33.827 euro
Kostprijs per ton	0,33 euro	0,43 euro	0,42 euro

### 3.3 Vaste kosten

Een laatste element van de totale logistieke kostprijs zijn de vaste kosten. Deze bestaan uit (i) een jaarlijkse kostprijs voor de opslagplaatsen en losinstallaties, (ii) onderhoudskosten voor deze opslagplaatsen en installaties, en (iii) een jaarlijkse brandverzekering voor de opslagplaatsen. Het betreft hier vaste bedragen op jaarbasis, dus onafhankelijk van het aantal ton dat in voorraad ligt. Vandaar dat we ze niet opnemen bij de voorraadkosten.

#### *(i) magazijn en installaties*

Rekening houdende met de vervangingswaarde en de afschrijvingstermijnen van het magazijn en de losinstallaties, bekomen we hier een jaarlijks bedrag van 3,09 euro per ton.

*(ii) onderhoudskosten magazijn en installaties*

Voor het onderhoud van het magazijn en de losinstallaties betaalt men een bedrag van 25.000 euro per jaar. Dit komt overeen met een prijs van 0,08 euro per ton.

*(iii) jaarlijkse brandverzekering*

Zoals reeds vermeld bij de voorraadkosten (punt 3.2), heeft het bedrijf een brandverzekering afgesloten van 0,063% op de vervangingswaarde van het magazijn en de installaties, zijnde in totaal 13.086.000 euro. Op jaarbasis is dit dus een bedrag van 8.244 euro. Aangezien er per jaar in totaal 300.000 ton goederen behandeld wordt, komt dit neer op een kost van 0,03 euro per ton.

Telt men al deze vaste kosten bij elkaar op, dan bekomt men een bedrag van 3,20 euro per ton. Dit bedrag verschilt niet tussen de drie vervoersmodi.

3.4 Totale logistieke kostprijs

Op basis van de hierboven berekende gegevens, kunnen we de totale logistieke kostprijs becijferen voor spoorvervoer, binnenvaart en wegvervoer. Deze totale logistieke kostprijs, opgebouwd uit transportkosten, voorraadkosten en vaste kosten, wordt weergegeven in tabel 8.

**TABEL 8: VERGELIJKING WEGVERVOER, BINNENVAART EN SPOORVERVOER**  
**(KOSTPRIJS PER TON)**

	Spoorvervoer	Binnenvaart	Wegvervoer
Transportkosten (incl. goederen- behandeling)	18,77 Euro	16,40 Euro	15,25 Euro
Cyclische voorraadkosten	0,06 Euro	0,01 Euro	0,0011 Euro
Voorraadkosten tijdens vervoer	0,06 Euro	0,19 Euro	0,03 Euro
Kosten van veiligheidsvoorraad	0,33 Euro	0,43 Euro	0,42 Euro
Vaste kosten (magazijn, installaties en brandverzekering)	3,20 Euro	3,20 Euro	3,20 Euro
<b>Totale logistieke kostprijs</b>	<b>22,42 Euro</b>	<b>20,23 Euro</b>	<b>18,90 Euro</b>

Men merkt dat het wegvervoer de goedkoopste vervoersmodus is: hij is in totale logistieke kostprijs 1,33 euro per ton goedkoper dan de binnenvaart en 3,52 euro per ton goedkoper dan het spoorvervoer.

Als men de resultaten in tabel 8 van naderbij analyseert, merkt men dat de transportkosten voor alle drie de vervoersmodi het leeuwendeel (ruim 80%) van de totale logistieke kostprijs vertegenwoordigen. Het belang van de voorraadkosten bedraagt nauwelijks 3%. De rest van de totale logistieke kostprijs zijn vaste kosten.

Het spoorvervoer en de binnenvaart, met hun grotere partijen en langere levertijden dan het wegvervoer, zullen alleen dan concurrentieel zijn met deze laatste vervoersmodus als hun transportkosten voldoende laag zijn. Een voor de hand liggende manier om de transportkosten van de binnenvaart te verlagen, is een overschakeling naar een groter scheepstype. In de volgende paragraaf wordt berekend in welke mate de totale logistieke kostprijs verandert bij een overschakeling van een Spits naar een Kempenaar.

### 3.5 Impact van een groter scheepstype

Het eerste verschil in logistieke kostprijs tussen een Spits en een Kempenaar situeert zich op het vlak van de transportkosten. Op basis van Blauwens *et al.* (2001) kunnen we berekenen dat de vervoerprijs voor een Kempenaar gemiddeld gezien bijna 30% lager ligt dan de vervoerprijs voor een Spits.

Als het bedrijf zou kunnen overschakelen van Spitsen naar Kempenaars, dan zouden de transportkosten, inclusief kosten van voortransport en goederenbehandeling, dalen van 16,40 euro per ton naar 12,70 euro per ton.

Het verschil tussen een Spits en een Kempenaar situeert zich uiteraard niet enkel op het vlak van de transportkosten, maar ook op het vlak van de voorraadkosten. Zoals hiervoor werd aangetoond, resulteert een verhoging van de partijgrootte in hogere kosten van cyclische voorraad. Daar waar de cyclische voorraadkosten in het geval van een Spits 0,01 euro per ton bedroegen, bedragen ze voor een Kempenaar

$$\frac{300 \text{ ton} \times 7,04 \text{ euro per ton per jaar}}{80.000 \text{ ton per jaar}} = 0,03 \text{ euro per ton}$$

Wat de voorraadkosten tijdens het vervoer betreft, gaan we ervan uit dat deze weinig of niet zullen verschillen tussen een Spits en een Kempenaar. Er zal waarschijnlijk geen groot verschil zijn tussen de levertijden van beide scheepstypes. De voorraadkosten tijdens het vervoer bedragen dus voor de beide scheepstypes 0,19 euro per ton.

Ook de kosten van veiligheidsvoorraad en de vaste kosten blijven gelijk: voor een Spits en een Kempenaar bedragen ze samen 3,63 euro per ton.

Tabel 9 geeft opnieuw een overzicht van de totale logistieke kostprijs, waarbij in de kolom van de binnenvaart de kostengegevens van een Kempenaar zijn opgenomen.

Zoals men ziet is het binnenschip hier duidelijk de goedkoopste vervoersmodus. De overstap van een Spits naar een Kempenaar veroorzaakt weliswaar een kleine toename in de cyclische voorraadkosten, maar deze kostenverhoging weegt helemaal niet op tegen de

besparing die men kan realiseren op de transportkosten. Daar waar het vervoer met een Spits nog 1,33 euro per ton duurder was dan het wegvervoer, valt het vervoer met een Kempenaar 2,35 euro per ton goedkoper uit. Het verschil met het spoorvervoer bedraagt zelfs 5,87 euro per ton.

**TABEL 9: VERGELIJKING WEGVERVOER, BINNENVAART (KEMPENAAR) EN SPOORVERVOER (KOSTPRIJS PER TON)**

	Spoorvervoer	Binnenvaart	Wegvervoer
Transportkosten (incl. goederenbehandeling)	18,77 Euro	12,70 Euro	15,25 Euro
Cyclische voorraadkosten	0,06 Euro	0,03 Euro	0,0011 Euro
Voorraadkosten tijdens vervoer	0,06 Euro	0,19 Euro	0,03 Euro
Kosten van veiligheidsvoorraad	0,33 Euro	0,43 Euro	0,42 Euro
Vaste kosten (magazijn, installaties en brandverzekering)	3,20 Euro	3,20 Euro	3,20 Euro
<b>Totale logistieke kostprijs</b>	<b>22,42 Euro</b>	<b>16,55 Euro</b>	<b>18,90 Euro</b>

#### **4. CONCLUSIE**

In deze bijdrage werd aan de hand van twee concrete voorbeelden aangetoond welke rol voorraden en leveringstijden spelen bij de keuze van een vervoerswijze. Voorraadkosten vormen een essentieel element van de totale logistieke kostprijs, en mogen dan ook niet verwaarloosd worden bij een logistieke kostenvergelijking tussen verschillende vervoerswijzen.

In een eerste gevalstudie, waar de vergelijking werd gemaakt tussen wegvervoer en binnenvaart voor het vervoer van laagwaardige massagoederen, kwam de klassieke afweging tussen transportkosten en voorraadkosten naar voren: de binnenvaart heeft lagere transportkosten dan het wegvervoer, maar haar voorraadkosten zijn hoger. Omwille van de

lage waarde van de goederen in kwestie, en de daaruit resulterende lage voorraadkosten, bleek de binnenvaart uiteindelijk de goedkoopste vervoersmodus te zijn. Er werd aangetoond dat het verschil in logistieke kostprijs tussen beide vervoersmodi verwaarloosbaar klein wordt bij een overschakeling naar hoogwaardige goederen met hoge voorraadkosten.

In de tweede gevalstudie kwam, naast het wegvervoer en de binnenvaart, ook het spoorvervoer aan bod. Bij deze laatste twee vervoersmodi was er voortransport, natransport en overslag van de goederen vereist, met als gevolg dat de transportkosten hoog opliepen. Hierdoor bleek het wegvervoer uiteindelijk de goedkoopste vervoersmodus te zijn. Er werd aangetoond dat de balans in het voordeel van de binnenvaart zou omslaan, als men een beroep zou kunnen doen op een groter scheepstype om de goederen aan te voeren.

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 beslissingen te onderbouwen en fijner af te stellen.

In de tweede plaats levert het onderzoek inzichten op voor de voorspelling van globale reacties op de hele vervoermarkt. Door de logistieke kostenvergelijking op een representatief staal van bedrijven toe te passen, krijgen we inzicht in de reacties die de totale markt kan vertonen, wanneer bijvoorbeeld nieuwe containerlijnen geopend worden, of vervoerprijzen veranderen, of de stiptheid van gecombineerd vervoer verbetert, enz.



## REFERENTIES

ALLEN, W.B., M.M. MAHMOUD & D. MCNEIL (1985), “The importance of time in transit and reliability of transit time for shippers, receivers, and carriers”, Transportation Research **19B** (5), blz. 447-456

BALLOU, R.H. (1992), Logistiek Management, Schoonhoven, Prentice-Hall / Academic Service, 816 blz.

BAUMOL, W.J. & H.D. VINOD (1970), “An inventory theoretic model of freight transport demand”, Management Science **16** (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 **45** (3), blz. 445-459.

BLAUWENS, G. (2000), “Logistieke analyse van transportbeslissingen in bedrijven”, Postacademische Opleiding “Logistiek en Mobiliteit: een praktijkgerichte aanpak”, Gent, Instituut voor Permanente Vorming & Universiteit Gent (Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Instituut voor Duurzame Mobiliteit)

BLAUWENS, G., *s.d.*, “Promotie van de binnenvaart als alternatief voor het wegvervoer”, *mimeo*

BLAUWENS, G., P. DE BAERE & E. VAN DE VOORDE (2001), Vervoerseconomie, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 555 blz.

BLUMENFELD, D.E., L.D. BURNS, J.D. DILTZ & C.F. DAGANZO (1985a), “Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks”, Transportation Research **19B** (5), blz. 361-380

BLUMENFELD, D.E., R.W. HALL & W.C. JORDAN (1985b), “Trade-off between freight expediting and safety stock inventory costs”, Journal of business logistics **6** (1), blz. 79-99

BRAMSON, M.J. (1962), "The variable lead-time problem in inventory control", Operational Research Quarterly **13** (1), blz. 41-53

BUFFA, F.P. & J.I REYNOLDS (1977), "The inventory-transport model with sensitivity analysis by indifference curves", Transportation Journal **16** (3), blz. 83-90

BURNS, L.D., R.W. HALL, D.E. BLUMENFELD & C.F. DAGANZO (1985), "Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs", Operations Research **33** (3), blz. 469-490

CONSTABLE, G.K. & D.C. WHYBARK (1978), "The interaction of transportation and inventory decisions", Decision Sciences **IX**, blz. 688-699

DAS, C. (1974), "Choice of transport service: an inventory-theoretic approach", The Logistics and transportation review **10**, blz. 181-187

FETTER, R. & W. DALLECK (1961), Decision models for inventory management, Irwin, Homewood

GROSS, D. & A. SORIANO (1969), "The effect of reducing lead-time on inventory levels – simulation analysis", Management Science **16**, blz. 61-76

LAMBRECHT, M. (1999), Voorraadbeheer, Wolters Plantyn, Deurne, 203 blz.

LANGLEY, J.C. (1980), "The inclusion of transportation costs in inventory models: some considerations", Journal of business logistics **2**, blz. 106-125

SHEFFI, Y., B. ESKANDARI & H.N. KOUTSOPOULOS (1988), "Transportation mode choice based on total logistics costs", Journal of Business Logistics **9** (2), blz. 137-154

VAN GOOR, A.R., A.H.L.M. KRUIJTZER & G.W. ESMEIJER (2000), Goederenstroombesturing, voorraadbeheer en materials handling Stenfert Kroese, Houten, 530 blz.