



STUDIECENTRUM VOOR ECONOMISCH EN SOCIAAL ONDERZOEK

KOSTEN- EN AANBODSFUNCTIES  
IN VERVOERBEDRIJVEN:  
EEN EMPIRISCHE DISCUSSIE

Evrard M. CLAESSENS

Rapport 80/106  
September 1980

Universitaire Faculteiten St.-Ignatius  
Prinsstraat 13 - 2000 Antwerpen  
D/1980/1169/16

## Voorwoord

De studie van aanbod- en kostenfuncties op het vlak van de ondernemingsbeslissingen heeft een merkwaardig belangrijke plaats ingenomen in de economische literatuur. De eerste baanbrekende bijdragen kwamen van een reeks eminente neo-klassieke leerstoelen. Na een aantal vage formuleringen van Marshall zijn verdere bijdragen bekend van Edgeworth en vooral van Pigou. Deze laatste concipiëerde de marginale kostencurve, en interpreteerde ze in termen van opportuiniteitskosten wat haar tot een essentieel beslissingsinstrument promoveerde. Pigou stelde ook een aantal evenwichtvoorwaarden op, die slechts met Harrod's curve der marginale opbrengsten werden veralgemeend. Na een halve eeuw academische discussie kon de ondernemingsbeslissingen 'te produceren en hoeveel' analytisch worden voorgesteld en begrepen.

De empirische discussie omtrent de implementeerbaarheid van dat didactisch materiaal was dan nauwelijks gestart. Het afleiden van marginale beheersformules voor complexe operaties is nog steeds een bron van controversen waarvan de meeste een empirisch karakter hebben. De kern van de discussie bestaat erin dat de traditionele theoretische voorstelling op basis van curven geschieden die gelden in 'zgn. ideale omstandigheden. In werkelijkheid kunnen vaak slechts specifieke deelaspecten in concrete voorstellingen worden uitgewerkt. Deze nota behandelt een aantal empirische problemen om tot bedrijfskostenfuncties te komen voor vervoerbedrijven. Achtereenvolgens wordt aandacht besteed aan produktiefuncties, kost-output relaties en de directe methode van wat soms 'engineering costing wordt genoemd'. Noch de behandelde problematiek, noch de literatuur-referenties maken aanspraak op volledigheid, zoals trouwens ook het beschikbare datamateriaal van een vrij beperkte aard was.

### 1. Spoorweg-productie relaties

De theorie omtrent het produktiebeleid van een onderneming concentreert zich hoofdzakelijk op twee onderscheiden onderwerpen. De zogenaamde 'hoeveelheidsbeslissing' omvat de problematiek van de optimale schaalgrootte der operaties binnen een gegeven capaciteit en, in de lange periode, de bepaling van de optimale capaciteit binnen de strategie van de onderneming, de controlerende holding of staats-establishment. Bij constante technologie en weinig mogelijkheid tot factorsubstitutie volstaat meestal de empirische toets van een eenvoudige 'kost-output functie' of kostenfunctie.

De tweede problematiek is die der optimale allocatie van de gebruikte produktiefactoren, en is vooral accuut in ondernemingen waar een flexibel beleid veel ruimte openlaat voor courante factorsubstituties. Langs de zijde der empirie kan de mogelijkheid van factorsubstitutie slechts worden onderzocht naarmate de produktiefactoren waartussen substitutie enigszins mogelijk is in een produktiefunctie werden gemodelleerd en hun respectievelijk technische coëfficiënten consistent werden geschat.

De empirische implementatie van dergelijk produktiefuncties doet geen onoverkomelijke hinderpalen rijzen in het geval van een eenvoudige output, volledig deelbare inputs en een perfect aanpasbaar produktieprocédé. In het geval het proces niet stochastisch varieert is de produktievergelijking opgenomen in het volgende optimeringsprobleem (HOROWITZ, 1970, p.105-111) :

Maximeer  $Q = q(F_1, \dots, F_k ; F_{k+1}^0, \dots, F_m^0)$  met een totale kosten restrictie :

$$C = \sum_{i=1}^k f_i \cdot F_i + \sum_{i=k+1}^m f_i \cdot F_i^0 = \sum_{i=1}^m f_i \cdot F_i + K$$

met  $F_i$  de fysische hoeveelheden van de 'm' inputs en  $f_i$  de daarmee geassocieerde eenheidskosten.

In de lange periode zijn alle 'm' factoren perfect deelbaar en is het totale kostenbudget 'C' theoretisch dus ook volledig recupereerbaar (escapable). In de korte periode zijn bepaalde factoren niet volledig aanpasbaar over een bepaalde outputspanne omwille van fysische, organisatorische of institutionele belemmeringen. Hun kosten,  $c_i F_i^0$  ( $i=k+1, m$ ) sommen op tot een vaste kost 'K' die voor een welbepaalde formulering als niet-recupereerbaar wordt aanzien. Principieel is er dus slechts één long run maar kunnen er verschillende korte perioden worden ingedacht naargelang de combinatie van restricties die aan het factor-gebruik zijn opgelegd.

De uitwerking van het produktie-maximeringsprobleem, of daarvan de duale kosten-minimeringsformulering, leidt tot een aantal optimaliteitsvoorwaarden waarvoor wij naar de handboeken terzake verwijzen. De voornaamste is dat de marginale produktiviteit van een produktiefactor in waarde gelijk moet zijn aan de factorkost. Belangrijk daarom is de juiste formulering van een empirisch implementeerbare produktiefunctie. KNEAFSEY (1974, p.78) stelt voor transportbedrijven vijf courante versies voor :

1/ Log-lineair  $Q = A \cdot K^{a_1} \cdot L^{a_2} \cdot E^{a_3}$

2/ Cobb-Douglas log-lineair met  $a_1 + a_2 + a_3 = 1$

3/ constante substitutie-elasticiteit :

$$Q = A \left[ dK^{-r} + (1-d)L^{-r} \right]^{-v/r}$$

4/ specifieke technologische verandering

$$Q = A (e^1 \cdot K^{a_1}) \cdot L^{a_2} \cdot E^{a_3}$$

5/ algemene technologische verandering

$$Q = A \cdot e^1 (K^{a_1} \cdot L^{a_2} \cdot E^{a_3})$$

met als variabelen, Q : totale output en K, L en E resp. de kapitaal, arbeids- en energie-inputs. Als parameters is '1' de graad van technologische verandering; 'd' de distributieparameter, 'r' de substitutieparameter, 'v' de homogeniteitsparameters en 'A' de constante als maat voor de algemene efficiëntie van het factorengebruik. Tenslotte meet 'a' de outputelasticiteit van een speci-

fieke input. Zo onderstelt een Cobb-Douglas constante schaal-effecten over alle inputs en dalende schaalears effecten op één individuele produktiefactor.

Kneafsey's selectie is geenszins exhaustief vermits tal van parametrische assumpties door middel van aangepaste mathematische constructies kunnen worden ingebouwd. De zuivere gedaante van synthetische produktiefuncties wordt meestal geamendeerd met verdere ad hoc specificaties die mogelijke vertekeningen in het gebruikte datamateriaal neutraliseren. Dergelijke ingrepen variëren naargelang de empirische steekproef tijdreeksen dan wel cross-sectionele data bevat, die telkens tot een reeks min of meer homogene produktiestatistieken moeten omgevormd worden.

Het toepassingsdomein van zgn. 'lange-termijn' produktiefuncties overlapt in sterke mate dat van industrie studies en sector-analyse. De 'representatieve onderneming' treed dan naar voor als een gewogen gemiddelde van factorcombinaties. Deze benadering hangt sterk af van de mogelijkheid cross-sectionele data te observeren over een industrie als een groepering van individuele bedrijven, die elk een gelijkaardige technologie toepassen (\*) en eenzelfde marktgedrag ontwikkelen. Simultaan is het mogelijk specifieke onderstellingen te testen of in te bouwen aangaande het markt-

---

(\*) De noties 'sector' en 'industrie' overlappen elkaar gedeeltelijk en kunnen moeilijk door een eenvoudig beginsel worden afgebakend. NERLOVE (1965, p.18-19) houdt het eenvoudigweg bij een "grouping of firms" en indexeert zijn observaties over verschillende ondernemingen (f) en doorheen de tijd (t). ROBINSON (1969, p.x) onderscheidt de 'output of the industry' als de verzameling goederen, die voortgebracht worden door ondernemingen "alike in their methods of manufacture", van de 'supply to a market' als "the demand for a group of commodities which are close substitutes to each other". Het uit die twee citaten is het wel duidelijk dat sector, industrie en markt geen synoniemen zijn (tenzij wellicht voor monopolies). Wanneer derhalve de studie van produktierelaties een aantal hypothesen onderstelt over marktgedrag en industriële structuur, is het onvermijdelijk dat er restricties optreden i.v.m. de interpretatie en de representativiteit van estimaties en simulaties.

gedrag en de sectoriële organisatie. Men bevindt zich inderdaad op de raakvlakken van produktietheorie, en industriële organisatie. Een instructief voorbeeld daarover is KLEIN's (1974, p.363-373\*) sectorstudie van de vooroorlogse Noord-Amerikaanse spoorwegindustrie.

De benadering door Klein voorgesteld, getuigt van originaliteit door de manier waarop de institutionele restricties van de zogenaamde 'vervoerplicht' (\*\*\*) in het empirisch model werden ingebouwd. Een conventioneel winstmaximeringsmodel werd verworpen, zoals bijvoorbeeld de volgende formulering :

$$\text{Max } p_0 \cdot x_0 - f_1 F_1 - f_2 F_2 \dots - f_n F_n \text{ met de}$$

produktierestrictie :

$$x_0 = k \cdot F_1^\alpha \cdot F_2^\beta \dots;$$

waarin :  $p_0$  : eenheidsverkoopprijs

$f_i (i=1,n)$  : eenheidsfactorkosten, onder assumptie van perfect competitieve factormarkten (\*\*\*)

$x_0$  : totale output in verkoopseenheden

$F_i (i=1,n)$  factorinputs

$k, \alpha, \beta, \dots$ , te schatten parameters van de produktiefunctie.

In plaats daarvan stelt Klein kosten-minimeringsmodel voor :

$$\text{Min } w \cdot n + q \cdot c + r \cdot d$$

waarin :  $n$  : jaarlijkse arbeid in manuren

---

(\*) als herziene (en verkorte) versie van zijn 1953 tekstboek (p.226-236) en een ongepubliceerde paper bij het National Bureau of Economic Research.

(\*\*) naast een aantal prijsrestricties betreft het hier vooral de verplichting goederen ter vervoer aan te nemen 'on demand'.

(\*\*\*) anders zou  $f_i$  zelf een functie zijn van  $F_i$ . Voor verdere methodologische bemerkingen m.b.t. de competitieve situatie op de factor- en eindmarkten wordt naar NERLOVE (1965) verwezen.

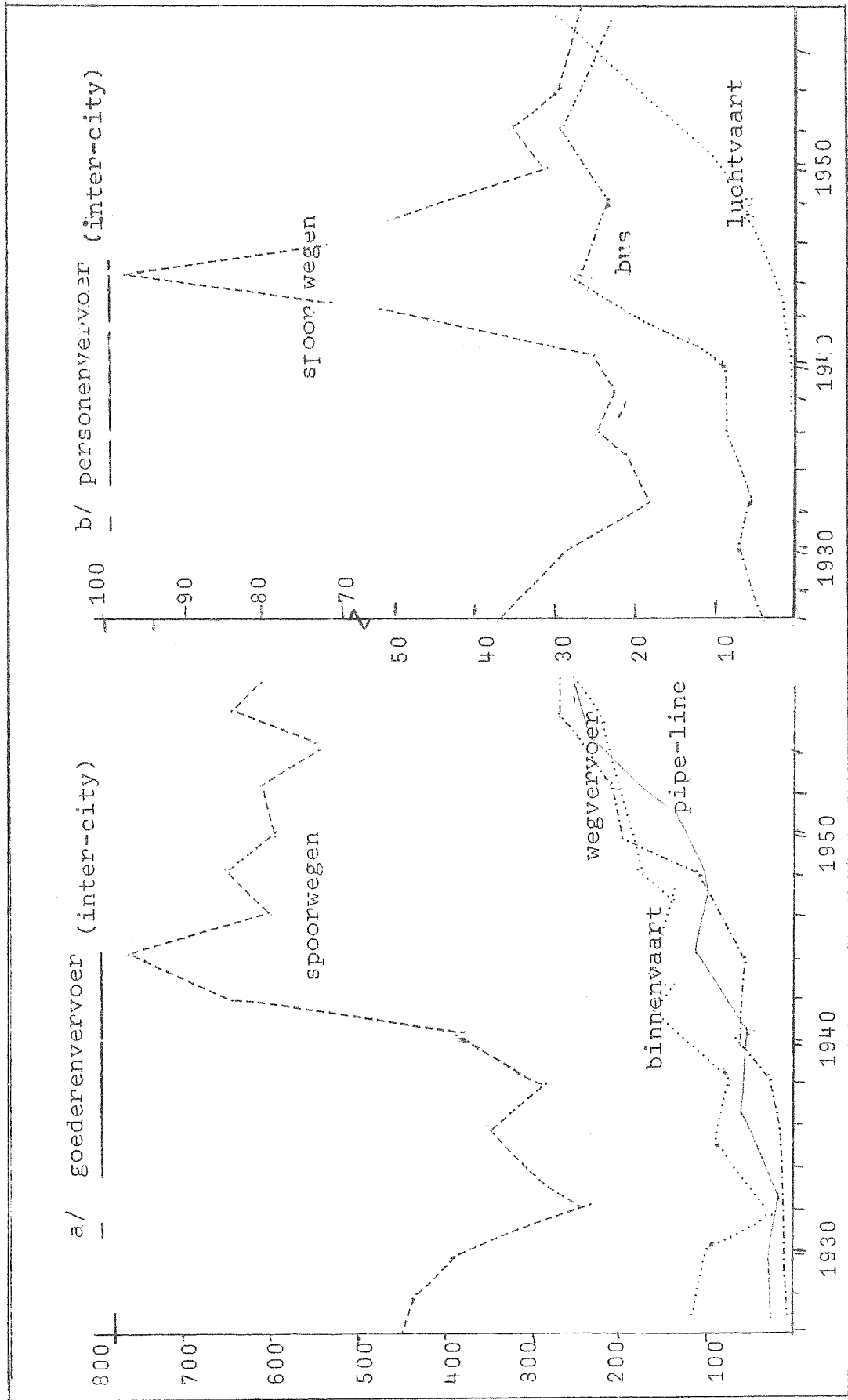
$c$  : energieverbruik in kolen-equivalenten  
 $d$  : verbruik van kapitaalgoederen gemeten in jaarlijkse  
 trein-kilometrage  
 en  $w, c, d$  : de factorkosten met ' $d$ ' een gemiddeld afschrijvings-  
 budget voor vaste installaties en rollend materieel.

De produktiefunctie in dit model is derhalve eerder van het type 'production requirement' dan de zgn. 'production possibility frontier'.

Klein paste een conventionele log-lineaire schatting toe op een cross-sectie van 78 'class I' spoorwegen van de U.S.A. anno 1936. Die periode toont een aantal kentrekken die hun belang hebben voor de interpretatie der parameters. Vooreerst was de stoomtractie tot een 'mature technologie' geëvolueerd, net als Amerikaanse diesels nu zijn. Er was voldoende competitie in de toeleveringsindustrie zodat de ruwe specificatie van de kapitaalmodule in het model geen hinder vormt. Ten tweede waren de dertiger jaren een periode van structurele overcapaciteit (zie figuur 1). Daarom kan het model als een lange-termijn formulering worden aanzien, ook zonder dat een uitbreidingsfonds voor infrastructuur expliciet in de specificatie werd opgenomen. De schatting mag derhalve een unieke verificatie genoemd worden van produktierelaties in een mature industrie. De zgn. 'Class I railroads' opereerden een net van hoofdlijnen met variërende invloeden van intra-industrie competitie en inter-lijn complementariteit, voordat de binnenlandse luchtvaart en de 'Inter-States autowegen het competitief patroon drastisch zouden wijzigen.

Slechts twee additionele kenmerken werden ingebouwd ter correctie van mogelijke vertekening. Zo was de gemiddelde reis lengte ( $z_1$ ) een bron van factorefficiëntie die niet van een mogelijke beleidsbeslissing voortkwam. Een tweede gepredetermineerde variabele is de output van lokale mijnen ( $z_2$ ) die het proportioneel impact meet van massagoed vervoerd door zgn. 'bloktreinen' (unit-trains).

Figuur 1: Evolutie van de binnenlandse vervoersprestaties in de V.S.A. per modus.



bron: J.C. NELSON, 1959, tabellen p. 10, 18, 439-444.



Strict genomen is een derde bron van vertekening mogelijk door de variërende mix tussen personendiensten ( $x_2$ ) en goederenvervoer ( $x_1$ ) en de daaruit voortvloeiende incidenties op factorefficiëntie (\*). Immers, in perfect competitieve eindmarkten is een optimum van een gecombineerde output slechts gegarandeerd bij een concave transformatiecurve in de ' $x_1 - x_2$ ' ruimte, een markthypothese die Klein als "very mild" beoordeelt in het geval van de vervoersplicht (o.c., p.364) (\*\*). Inderdaad zouden uitbaters weinig mogelijkheden hebben een optimale ' $x_1 - x_2$ '-mix te selecteren in de context van de produktiemogelijkheden en worden derhalve beide variabelen als gepredetermineerd aanzien.

De produktiefunctie verkrijgt tenslotte de volgende vorm :

$$\log x_1 = K + \delta \log x_2 + \alpha \log n + \beta \log c + \gamma \log d \\ + \phi \log z_1 + \phi \log z_2 + \log u$$

waarin alle variabelen een 'i' subscript hebben voor de geobserveerde ondernemingen.

---

(\*) Het conventionele winstmaximeringsprobleem bij meervoudige outputs bestaat erin een uniek raakpunt te concipiëren tussen de prijslijn der eindprodukten (met helling  $p_{x1}/p_{x2}$ ) en de concaaf onderstelde technische transformatiecurve tussen  $x_1$  en  $x_2$ . Die discussie is evident alleen relevant indien een onderneming werkelijk in staat is die optimale mix vanuit een ondernemingsstrategie te bepalen, en wanneer perfect competitieve eindmarkten een uniek raakpunt garanderen. De concaaf onderstelde transformatiecurves onderstellen schaalnadelen, zodat men in het onderhavige geval eerder convexiteit zou mogen verwachten. Lineaire transformacurven wijzen op perfecte technische substitutie en beide outputs kunnen als een samengestelde grootheid worden aanzien. Bij competitieve eindmarkten is er dan geen uniek optimum. Het zou kunnen beredeneerd worden dat zulks de bedoeling der vervoerplicht is.

(\*\*) Klein vermeldt alleen dat omwille van de institutionele restricties in de industrie de variabelen als gepredetermineerd worden aanzien (o.c., 1974, p.366 en 1953, p.229)

De hypothese van kostenminimerend ondernemingsgedrag wordt geïntroduceerd door de produktiefuncties met de volgende eerste-ordevoorwaarden combineren (\*) :

$$\frac{q \cdot c}{w \cdot n} = \frac{\beta}{\alpha} = 0.1349 \quad \text{voor energie tot arbeid}$$

en

$$\frac{r \cdot d}{w \cdot n} = \frac{\gamma}{\alpha} = 0.3124 \quad \text{voor kapitaal tot arbeid}$$

Die werkwijze legt eenvoudigweg de raakpunten op tussen de geschatte isokosten-lijnen (de casu de curve der werkelijke uitgaven) en de respectievelijke isoquanten. De geschatte getallen in het rechterlid zijn de meetkundige gemiddelden van de ratio's in het linkerlid van de vergelijkingen (\*\*).

Tenslotte kan men dat paar vergelijkingen substitueren voor de produktiefactoren in de eerder vermelde produktiefunctie :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\alpha} \log x_1 - \frac{\delta}{\alpha} \log x_2 - \frac{K}{\alpha} - \frac{1}{\alpha} \log u - \frac{\theta}{\alpha} \log z_1 - \frac{\phi}{\alpha} \log z_2 \\ = \log n + \frac{\beta}{\alpha} \log c + \frac{\gamma}{\alpha} \log d, \end{aligned}$$

zodat  $\frac{1}{\alpha}$ ,  $\frac{\delta}{\alpha}$ ,  $\frac{K}{\alpha}$ , ..., en  $\sigma^2(1/\alpha/\log u)$  geschat worden onder restricties van de parameters in het rechterlid ( $\hat{\beta}/\alpha$  en  $\hat{\gamma}/\alpha$ ). Het uiteindelijke resultaat is (met standaardfouten tussen haakjes) :

(\*) voorwaarden die resulteren van de uitwerking der Lagrangiaan

$$\min L = \sum_i f_i \cdot F_i - x_0 - k \cdot F_1^\alpha \cdot F_2^\beta \cdot F_3^\gamma \text{ enz.}). \text{ Die gelijkheden in de ratio-}$$

waarden volgen wel uit het kostenminimerend optimum maar bieden geen equivalent voor de optimaliseringsvoorwaarde dat factorprijzen gelijk zijn aan de waarde (in prijs) van de marginale factorproductiviteit, tenzij perfecte competitie kan worden ondersteld in de factormarkten. In Klein's toepassing leken die voorwaarden alle vervuld.

(\*\*) een discussie van de statistische eigenschappen van die procedure is te vinden in NERLOVE (1965, p.75 seq.).

$$\begin{aligned}
 & \log n + 0.13 \log c + 0.31 \log d \\
 & = -0.84 + 1.12 \log x_1 + 0.18 \log x_2 \\
 & \quad (0.24) \quad (0.04) \quad (0.02) \\
 & - 0.39 \log z_1 - 0.28 \log z_2 \\
 & \quad (0.11) \quad (0.09)
 \end{aligned}$$

of na re-transformatie der logarithmen en herschikking der outputvariabelen:

$$x_1 = 5.62 \cdot x_2^{-0.16} \cdot n^{0.89} \cdot c^{0.12} \cdot d^{0.28} \cdot z_1^{0.34} \cdot z_2^{0.25}$$

Een klassieke hit van dergelijke schattingen is dat de exponenten der veranderlijken van het factorgebruik (n, c en d) opsommen tot een homogeniteitsgraad van 1.19 en daarmee het bestaan van schaal-effecten aanduiden (\*). Een andere bemerking geldt de negatieve exponent van de  $x_2$ -variabele (maar kleiner dan de eenheid in absolute waarde). Die waarde duidt op een strict concave transformatiecurve tussen  $x_1$  en  $x_2$ , zonder dat die eigenheid formeel was opgelegd (\*\*). Buiten die observatie van methodologische aard

---

(\*) In de lange periode dient 'schaal' strict geïnterpreteerd te worden, m.a.w. constante factor-propoorties over verschillende grootte van ondernemingen die binnen de observatierange vallen. De graad van homogeniteit toetst dan eenvoudigweg of industriële expansie meest efficiënt wordt nagestreefd door de interne groei van een aantal bestaande ondernemingen of door de duplicatie van het aantal ondernemingen. 'Returns to scale' dient daarom te worden onderscheiden van 'returns to outlays' waarbij de onderstelling van constante factor-propoorties wordt opgegeven. Het laatste begrip is veelal geassocieerd met korte termijn studies, d.w.z. wanneer sommige factoren onveranderlijk zijn of niet proportioneel met andere groeien.

(\*\*) Omwille van de cross-sectionele data die in de steekproef gebruikt werden dient de oorzaak daarvan in geografische factoren gezocht te worden (veel lange afstand vrachtvervoer doorheen dunbevolkte gewesten en personenvervoer dat het korte afstandsvervoer domineert omheen de 'North-Eastern Corridor'), eerder dan van een beleidskeuze (een bepaalde  $x_1/x_2$ ) te produceren zodat winstmaximering optreedt wanneer  $(dx_1/dx_2)$  langs de produktieve transformatiecurve gelijk wordt aan  $(p_1/p_2)$  in competitieve eindmarkten).

moet er een mogelijke collineariteit tussen ' $x_2$ ' en ' $z_1$ ' worden genoteerd. Dit betekent dat de relatief dicht bevolkte gebieden van de 'North-East Corridor' relatief meer passagiersvervoer genereren en ook een kortere routing vertonen dan de transcontinentale 'trunk roads' van het Westen. Dit laatste punt kon echter niet worden getoetst vermits de originele steekproef niet werd gepubliceerd.

De voordelen van een uitgewerkte produktiefunctie hangen evident af van het detail waarmee de empirie kan worden uitgewerkt. Kneafsey (1974, p.77-79) is dienaangaande nogal strikt. Vooreerst merkt hij een algemene nood op voor "accuracy, precision and clarity to facilitate scientific analysis". Ten tweede duidt hij terecht op de moeilijkheid adequate input en output-grootheden te concipiëren met het oog op een eventueel gebruik voor efficiëntie-analyse. Tenslotte aanziet hij expliciete analyse van produktierelaties als een essentiële stap ter indentificatie van kostenfunctie. Hij verwijt dat "seldom researchers in their haste to relate costs to output explicitly consider production functions from which costs should be derived", en besluit dat de 'arme resultaten' van vele direct geschatte kost-output relaties juist daarin zijn gelegen dat zij het stadium van de produktiefunctie overslaan en daarmee de hele gedragswetenschappelijke benadering van het produktieproces.

Die kommentaar is duidelijk eenzijdig. Ten eerste wordt de analytische perfectie van deterministische produktiemodellen vergeleken met de empirische resultaten van sommige (niet vermelde) statistische kostanalyses. Ten tweede wordt ook de mogelijkheid produktiefuncties te implementeren grondig overschat. Nemen we daarvoor Klein's specificatie. Ondanks een klare specificatie van het algemene concept is er niettemin een gebrekkig inzicht tot op het niveau van de feitelijke operaties. Voor lange termijn interpretaties (zoals bv. schaalfactoren) is dat niet zo'n hinderpaal, maar voor de individuele interpretatie van de technische coëfficiënten moet men noodgedwongen zijn interpretaties tot de geobserveerde aggregaten beperken. Een voorbeeld daarvan is het

gebruik van treinkilometer als een maatstaf van kapitaaldiensten. In werkelijkheid varieert de kapitaalintensiviteit van de zgn. 'Big Boy' op de Union Pacific tot de kleinschalige operaties van lokale caboteurs, een indicatie dat de werkelijke mogelijkheden van schaalearde effecten wellicht overschat is. En bewees de fusie van de 'Pennsylvania' en de 'New York Central' niet voldoende dat de grootste consolodatie (en bankroet) van de eeuw veel te zwaar op ingebeelde schaalearde efficiëntie gespeculeerd had.

## 2. Kost-output relaties

De berekeningsprocedure zoals voorgesteld door geschatte produktie functies in hun aangepast markt-economisch kader wordt zelden empirische volledig uitgewerkt. Een kronisch gebrek aan onvertekend datamateriaal is daarvan veelal de oorzaak. Ook lijkt het soms irrationeel de hele gamma van relaties door te lichten wanneer slechts een relatief klein facet van het onderliggende produktieproces ter sprake komt. Een deel van de empirie der produktierelaties houdt zich dan ook aan het min of meer direct relateren van de geproduceerde output aan de daardoor veroorzaakte kosten. Hierbij geeft de theorie een weinig doctrinair houvast zodat tal van formuleringen mogelijk zijn. De bestaande variëteit kan in drie onderscheiden klassen worden ingedeeld.

Vooreerst kan het technische produktieproces als geoptimeerd worden beschouwd en wordt de output gerelateerd aan de totale kosten, eventueel gecorrigeerd voor schommelingen in de heersende factorproporties. Varianten zijn de zgn. 'kostenequatie' waar totale kosten rechtstreeks op het factorengebruik wordt geregresseerd of de 'prijssequatie' die de gemiddelde output-prijsindex relateerd aan de prijsindices der produktiefactoren.

Een tweede reeks kost-output relaties is het type van kosten-calculus zoals toegepast in projectanalyse. Naast capaciteitsimplicaties betreft het hier meestal diepte-investeringen of situaties waar substantiële restricties op sommige factoren een herziening van het produktiebeleid vereisen. De berekeningen

stellen een 'no change' situatie tegenover verschillende alternatieven die ieder wezenlijk verschillen en tabellarisch kunnen worden opgetekend. Op een kost-output diagram verschijnen enkele referentiepunten zonder dat de verbinding met de 'no change' situatie relevante kostencurven voorstelt. Dergelijke calculaties zijn 'one shot' en worden verricht wanneer het ondernemingsbeleid voor strategische beslissingen staat (CARSBURG, 1975, p.56-70).

Een derde type kostenstudies geeft meer aandacht aan kostenidentificatie in situaties waar managers de keuze hebben over een breed output-interval en waar een economisch-optimale hoeveelheid moet worden bepaald. Die continue relatie tussen kosten en output eist een aantal welbepaalde assumpties zoals constante factorkosten en technologische mogelijkheden over het gezochte interval. Onregelmatigheden in het totale kostenverloop zijn daarom minder aan factorbeslissingen gerelateerd maar eerder aan de technische organisatie van het onderliggende produktieproces.

Wat is daarvan nu het pro en contra? De contra-argumenten zijn duidelijk de pro's van een expliciete produktiefunctie. Er is inderdaad weinig behaviouristische informatie over de produktierelaties tenzij die worden gesimuleerd om tot de uiteindelijke kostencijfers te komen. Dat nadeel kan dus worden opgevangen door een aangepaste empirie waarop een volgende sectie ingaat. Het voordeel is de eenvoud van een basisproces zodat mogelijke afwijkingen beter kunnen worden gelocaliseerd en geïdentificeerd. De voornaamste afwijkingen zijn van drieërlei aard: te weten, de richting van de outputwijziging (additionele kosten van expansie liggen meestal hoger dan wat door contractie kan worden uitgespaard), het fenomeen van de 'ondeelbaarheden' (verhoging van vaste kosten op welbepaalde output-drempels) en de technische allocatieproblemen van geassocieerde produktie. Elk van die drie problemen is niet tot een welbepaald model beperkt, en kan bij voorbeeld evenzeer bij produktiefuncties optreden dan bij kostenfuncties. In het laatste geval zullen zij echter duidelijke

lijker naar voor komen omwille van de grotere eenvoud van de onderliggende relatie, en zullen ook de afgeleide grootheden als gemiddelde en marginale kosten sterkere schommelingen vertonen. De kern van de problematiek lijkt daarmee tot een empirische discussie te zijn herleid (\*).

### 3. De empirische discussie

Het empirisch onderzoek naar realistische kostenprofielen is meestal gekend onder twee ogenschijnlijk exclusieve benaderingen. Enerzijds poogt de statistische kostenanalyse nauwkeurige parameters te schatten van de hiervoor becommentarieerde wiskundige voorstellingen. De methode past directe statistische tests toe op een soms vrij geaggregeerd datamateriaal. Het is derhalve mogelijk dat redelijk gevarieerde observaties in het keurslijf van een enkel basismodel worden gedrongen. Anderzijds kent de literatuur der pragmatici de zogenaamde 'engineering method'. Onder die collectieve term ressorteren tal van technische simulatietechnieken die, met boekhoudkundige kostengegevens geassocieerd, een kostencijfer vooropstellen onder een gedetailleerd set van operationele omstandigheden. Deze eerste vergelijking substantieert de indruk dat 'statistical costing' vooral de algemene gemiddelde kostenrelatie formuleert, terwijl de directe engineering methode zich voornamelijk bezig houdt met de mogelijke afwijkingen.

#### 3.1. Statistische methoden

Statische kostenanalyse als empirische methode is intellectueel zeer aantrekkelijk vermits het een evenwichtig verdeelde brainstorming inhoudt over de raakvlakken van economie, wiskunde en statistiek. De kern van problematiek ligt wel degelijk in het formuleren van een implementeerbaar model. Reeds vrij vroeg bevatte de literatuur terzake dan ook waarschuwingen tegen "the tendency, probable unconscious, to warp the economic theory to suit the exigencies of mathematical theory" (GRAYSON, 1948, p.253).

---

(\*) een meer gedetailleerd overzicht van de hier behandelde topics werd behandeld in CLAESSENS (1980, p.208-256).

Daarenboven bestaat nog het gevaar dat te ingewikkelde modellen veelal op een specifiek databestand zijn gericht en onvoldoende toetsen inhouden over hun algemene geldigheid (de zgn. robustheid).

Een traditionele onderscheid bestaat tussen tijdreeksen die hoofdzakelijk een korte termijn schatting zouden opleveren, en cross-sectionele observaties die op de lange termijn zijn gericht (BORTS, 1954, p.316-333; en FRIEDLANDER, 1967, p.226-233). Het is echter geenszins waar dat tijdreeksen exclusief een korte termijn schatting genereren, alhoewel de praktische organisatie van de empirie dat meestal impliceert. MEYER (1958, p.212) noteerde dat tijdreeksen van een bepaalde onderneming (of operationele eenheid) een zeer grote tijdspanne moeten omvatten, wil men voldoende variatie observeren in de verschillende variabelen. Het gevolg is dat de basisrelatie veelal vertekend wordt door een aantal randverschijnselen zoals de technologische evolutie, relatieve factorkosten en substitutie-effecten. LESOURNE (1971, p.205-214) maakt een gelijkaardig onderscheid. Cross-sectionele observaties lijken evident bij ruimtelijk verspreide fenomenen en zijn ook een veelvuldig hulpmiddel bij gebrekkige of onbeschikbare tijdreeksendata. Tenslotte legt JOHNSTON (1958, p.339-350) in zijn algemeen overzicht de nadruk op het verwerken van veelvuldige output in kostenmodellen waarbij hij opmerkt dat "the real world preponderance of multiple product as against single product firms is probably the inverse of the space their respective analyses occupy in economic theory" (o.c., p.346).

Een basisbedoeling bij de statistische schatting van kostenfuncties is een totale kostencurve te verkrijgen die over een realistisch interval afleidbaar is, zodat de afgeleide marginale kost over dat interval op basis voor prijsbeslissingen kan worden geïnterpreteerd. Studies die na Klein's sectoranalyse de kost-outputrelatie toetsten op een gelijkaardig datamateriaal (MEYER, PECK, 1958, p.33-63; en BORTS, 1960), verkregen realistische resultaten door naast de relatie tussen het volume ( $Q$ ) en de totale kosten ( $C$ ) ook de grootte van de onderneming ( $S$ ) te betrekken, meestal voorgesteld door de netwerklengte. De basisrelatie werd dan van het



type :

$$C = f(Q,S)$$

In lange-termijn opties was de 'size' variabele minder belangrijk maar steeds bleven grote ruimtelijke storingsen bestaan omwille van sterk verschillende operationele omstandigheden over het Noord-Amerikaanse continent.

### 3.2. De 'engineering methods'

De reden dat de empirische discussie hoofdzakelijk tot de U.S.-literatuur beperkt bleef volgt uit een praktische situatie. Na de Sherman en Clayton Acts werden consolidaties tussen verschillende spoorwegondernemingen argwanend bekeken en oefende de I.C.C. daarenboven nog een strenge controle uit op tal van bestaande - en soms ingebeelde - monopolistische praktijken. Het resultaat is dat paradijselijke omstandigheden werden geschapen voor toegepast onderzoek in de hier behandelde materie : een fragmentarisch georganiseerde industrie met regelmatig gepubliceerd datamateriaal over elk der ondernemingen en dat nog volgens boekhoudkundig geharmoniseerde normen (\*). Wie dergelijk werk voor het Europees continent wil overdoen moet echter naar de 19e eeuw.

In zulke situaties waar weinig te observeren valt ligt de nadruk van het onderzoekswerk op het eigenhandig geconcipieerde budgettering. Die praktijk sinds decennia toegepast door boekhouders en accountants, werd door KRESGE en ROBERTS (1971) systematisch ontwikkeld door transportbedrijven. De spoorwegmodule werd elders (CLAESSENS, 1980, p.347-366 & 413-449) herwerkt voor de in Europa gangbare technologische parameters. Een beknopte schets daarvan is in bijlage opgenomen.

---

(\*) Hoewel de grondtaksen op spoorwegdomeinen sterk van staat tot staat verschilden en soms zelfs een discriminerend karakter hadden. Een eerste stap naar egalisatie werd slechts bereikt in 1976 door sectie 306 van de "Railroad Revitalization and Regulatory Reform Act".

De 'engineering' method vertrekt van feitelijke operaties die in successieve orde worden gerangschikt. In principe wordt per operatie een exclusieve eenheidskost toegewezen (d.w.z. die geen gemeenschappelijke componenten vertoont met andere operaties die reeds elders in de budgettering werden gerapporteerd). Praktisch wordt de methode zelden exhaustief uitgewerkt. Sommige deelaspecten hebben een marginaal verwaarloosbaar belang en kunnen gegroepeerd worden weergegeven. Andere elementen hebben moeilijk te observeren kostenelementen en dienen voor budgettaire technieken te worden benaderd, bij voorbeeld een beperkte statistische analyse op basis van historische budgetten. Tenslotte zijn bepaalde componenten zelf het voorwerp van technische experimenten (bv. de invloed van de snelheid en het bruto-gewicht op de slijtage der bedding). Het uiteindelijk verkregen kostencijfer in dat geval is dan een combinatie van technische experimenten en historisch gebudgetteerde cijfers. Het is evident dat de methode niet uitmunt in doctrinair cartesische klaarheid en slechts geval per geval kan worden beoordeeld. De voornaamste problemen zijn conceptueel van aard te weten het toetsen tegen dubbeltellingen, de identificatie der kosten en de selectie van de te simuleren grootheden.

De meeste oorzaken van dubbeltellingen zijn te neutraliseren bij het ontwerpen van het technische flow-diagram zelf. De kostenidentificatie is vooral een probleem van nomenclatuur vermits economische kosten en boekhoudkundige uitgaven geen zuiver overlappende begrippen zijn (\*). In die zin zijn zelfs klassieke discussies als die over 'common' en 'joint costs' eerder een zaak van adequate meeteenheden dan van toewijzingsmethoden. Tenslotte ligt de toets der bruikbaarheid van de benadering in de selectie van de te simuleren grootheden. Die selectie is reeds beperkt vanaf het ontwerpen van een flowdiagram, vermits daar de kostenplaatsen worden gedefinieerd.

---

(\*) of in de Angel-Saxische literatuur, expenditures (zoals genoteerd in boekhoudkundige journaalposten) expenses (d.w.z. na allocatie ter voorbereiding van een jaarrekening) en cost (wat de economische causaliteit oproept).

In het geval van een spoorwegbedrijf kan men vier alternatieve beschrijvingen van typische operaties vooropstellen. In het geval van een personendienst dient onderscheid gemaakt tussen een zogenaamde 'gecadanseerde dienst' en een regelmatige navette die niet op klokvaste tijden plaatsvindt. De eerste versie is kapitaal en arbeids-intensiever vermits er een grotere proportie aan terminale wachttijden verloren gaat. Een uitgewerkte toepassing werd elders voorgesteld (CLAESSENS, 1976). Bij het goederenverkeer liggen de alternatieven anders. Een eerste routine beschrijft een 'capaciteitsdienst', waarbij over een bepaalde periode een gegeven hoeveelheid dient te worden vervoerd (bv. tussen een haven en een inlands industriegebied). De alternatieve routine beschrijft een lijndienst waar bij een minimumfrequentie steeds wordt verzekerd (bv. Hùchepack-diensten in een geïntegreerd netwerk).

Ter instructie wordt het voorbeeld van een capaciteitsdienst bondig toegelicht. Uit de aard van de vraagstelling zijn daar de te berekenen modules eerder complex, en de andere drie gevallen zijn daarvan grotendeels vereenvoudigingen. De voornaamste formules, identiteiten, parameters en variabelen werden in de appendix geschetst en zijn gerangschikt volgens het onderliggende flow-diagram. Zoals eerder werd aangeduid zijn de benodigde parameters ofwel gemiddelde observaties (bv. de jaarlijkse gemiddelde onderhoudskost per type van rollend- of tractiematerieel), statistische schattingen op basis van historische budgetgegevens (bv. de marginale onderhoudskost aan spoorbedding en super-structuur in functie van de bruto trafiekdensiteit en snelheid) of technische simulaties gecombineerd met factorkosten (bv. de aankoopprijs en annuïteitskost van het tractiematerieel in functie van de trekkracht, de technologie en de levensduur). Voor een typische routine kunnen dan achteraf de kostenplaatsen worden gedefinieerd volgens typische produktiefactoren en/of suggestief gegroepeerde operaties. Een algemene schets is in tabel 1 weergegeven. Tabellen 3 tot 5 bevatten de gesimuleerde uitkomsten voor een zware ertstrafiek met hoppers. De simulaties werden op gelijke basis herhaald voor diesel- (tabellen 3 en 5) en elektrische tractie (tabellen 2 en 4) en dat voor een trafiek van netto 5 mio ton (tabellen 2 en 3) en 10 miljoen

ton (tabellen 4 en 5). De kostencijfers geven de resultaten per afstandsklassen van 60 tot 150 kilometer. Het algemene standpunt is gebaseerd op het opportuniteitsconcept. Zo is de grondwaarde bepaald aan de hand van een gemiddelde prijs :  $m^2$  en niet op basis van historische onteigeningsgegevens. De technologie werd als een constante genomen, met een 1,600 bruto-ton treinstel. Meer trafiek zal derhalve proportioneel meer treinkilometer onderstellen. Het dient opgemerkt dat in het geval van een lijndienst dit niet geldt. Dan zal eerst de bestaande capaciteit volledig worden benut vóór men additioneel materiaal laat inrukken.

Ter verdere toelichting bij tabellen 3 tot 5 worden enkele algemene grootheden besproken. De terreinkosten zijn evident een vaste kost voor het openhouden der spoorlijn en hebben geen enkele direct alloceerbare fractie. Dit verklaart de nulwaarden in de eerste kolom (de 4 eerste codekolommen niet meegerekend) en tevens het feit dat de 'ratio van de totale opportuniteitskosten t.o.v. dist = 1 km' steeds gelijk aan de afstand is. De fractie in de totale kosten varieert tussen 7.4 en 9.7 % in het geval van een 5 miljoen ton trafiek en tussen 4.2 en 5.8 % bij 10 miljoen ton (dit telkens voor elektrische tractie).

De simulaties aanzagen de kosten van rollend-en tractiemateriaal, de loon- en energie-uitgaven als direct alloceerbaar. Dit standpunt is gemotiveerd door een 'netwerk' benadering van een individuele spoorlijn. Bij een hypothetische opheffing van onze ertsroute kunnen die kosten immers worden gerecupereerd (energiekosten) of aan andere componenten van een netwerk worden toegewezen. In de tabellen zijn die kostencijfers dus gelijk voor de rijen die respectievelijk direct alloceerbare en totale opportuniteitskosten aanduiden. Het onderhoud der sporen is typisch een 'gegroepeerde activiteit' die tot 40 % van de totale opportuniteitsbudgetten opslorpt. Het omvat alle produktiefactoren die erbij betrokken zijn, inclusief loonkosten van de 'diensten der baan'. De variabele kosten variëren van 40 % (bij 5 mio ton) tot 60 % (10 mio ton) maar die cijfers zijn per definitie niet beïnvloed door de lengte van het traject.

Tabel 1 : Overzicht van de simulatieresultaten volgens listings in tabellen 2 tot 5.

codekolommen	direct allocerbare kosten	totale opportuniteitskosten
t		
tractie : 1) elektrisch ; 2) diesel		
additioneel onderhoud der sporen bij elektrische		
tractie : 1) direct gealloceerd ; 2) indirect.		ratio van de direct allocerbare kosten, vergeleken met DIST = 1 km.
jaarlijkse trafiek in miljoen netto ton		ratio van de totale opportuniteitskosten, vergeleken met DIST = 1 km.
trajectlengte (aantal sporen is gemiddeld 1,5)		fracties van direct allocerbare kosten(%)
		fracties van totale opportuniteitskosten.
/1/ ruimtebeslag		
	cfr./h/	
/2/ rollend materieel		
	cfr./c/	
/3/ tractie-materieel		
	cfr./d/	
/4/ onderhoud van infra- en superstructuur, cfr./e/		
/5/ energiekosten		
	cfr./f/	
/6/ loonkosten		
	cfr./g/	
/T/ totaal	6	1

Tabel 2 : Opportunitetskosten van een elektrische capaciteitsdienst bij een jaarlijkse netto-trafiek van 5 mio ton (miljoenen BF: prijsniveau 1977).

1	2	5	61	-	54.3	36.7	50.1	14.3	110.4	265.8
				26.9	54.3	36.7	133.6	14.3	110.4	376.2
				-	1.2	2.3	60.8	60.8	1.2	1.8
				61.0	1.2	2.3	60.9	60.8	1.2	2.5
				-	20	14	19	5	42	100
				7	14	10	36	4	29	100
1	2	5	91	-	59.6	43.5	66.4	19.0	117.5	304.2
				40.1	59.6	43.5	177.3	19.0	117.5	450.8
				-	1.4	2.9	90.6	90.6	1.4	2.2
				91.0	1.4	2.9	90.4	90.6	1.4	2.2
				-	18	14	23	7	38	100
				8	12	10	41	4	25	100
1	2	5	121	-	64.8	57.0	99.1	28.3	131.7	381.0
				53.4	64.8	57.0	264.8	28.3	131.7	600.0
				-	1.4	3.5	120.4	120.4	1.5	2.5
				121.0	1.4	3.5	120.8	120.4	1.5	3.9
				-	17	15	26	7	35	100
				9	11	9	44	5	22	100
1	2	5	151	-	70	67	123.6	35.3	142.4	438.6
				66.6	70	67	33.0	35.3	142.4	711.9
				-	1.6	4.1	150.1	150.1	1.6	2.9
				151.0	1.6	4.1	150.7	150.1	1.6	4.7
				-	16	15	28	8	33	100
				9	10	9	47	5	20	100

Tabel 3 : Opportunitetskosten van een diesel capaciteitsdienst  
bij een jaarlijkse netto-traffic van 5 mio ton.  
(miljoenen BF: prijsniveau 1977).

2 1 5 61	-	54.3	91.7	50.1	9.8	110.4	316.2
	26.9	54.3	91.7	123.2	9.8	110.4	416.2
	-	1.2	2.3	60.8	60.8	1.2	1.8
	61.0	1.2	2.3	60.9	60.8	1.2	2.4
	-	17	29	16	3	35	100
	6	13	22	30	2	27	100
2 1 5 91	-	59.6	117.9	74.6	14.5	121.0	387.7
	40.1	59.6	117.9	183.6	14.5	121.0	586.8
	-	1.4	3.0	90.6	90.6	1.4	2.2
	91.0	1.4	3.0	90.8	90.6	1.4	3.1
	-	15	30	19	4	31	100
	7	11	22	34	3	23	100
2 1 5 121	-	64.8	144.0	99.1	19.3	131.7	459.0
	53.4	64.8	144.0	244.1	19.3	131.7	657.3
	-	1.5	3.7	120.4	120.4	1.5	2.7
	121.0	1.5	3.7	120.7	120.4	1.5	3.8
	-	14	31	22	4	29	100
	8	10	22	37	3	20	100
2 1 5 151	-	70.1	170.2	123.6	24.1	142.4	530.4
	66.6	70.1	170.2	304.5	24.1	142.4	777.8
	-	1.6	4.4	150.1	150.1	1.6	3.1
	151.0	1.6	4.4	150.6	150.1	1.6	4.5
	-	13	32	23	5	27	100
	9	9	22	39	3	18	100

Tabel 4 : Opportunitetskosten van een elektrische capaciteits-  
dienst bij een jaarlijkse netto-trafiek van 10 mio ton.  
(miljoenen BF: prijsniveau 1977).

1	2	10	61	-	108.7	73.4	100.2	28.6	220.7	531.5
				26.9	108.7	73.4	183.7	28.6	220.7	
				-	1.2	2.3	60.8	60.8	1.2	1.8
				61.0	1.2	2.3	60.9	60.8	1.2	2.1
				-	20	14	19	5	42	100
				4	17	11	29	4	35	100
1	2	10	91	-	120.9	95.1	151.4	43.3	245.6	656.4
				40.1	120.9	95.1	276.0	43.3	245.6	821.1
				-	1.4	2.9	91.9	91.9	1.4	2.2
				91.0	1.4	2.9	91.5	91.9	1.4	2.7
				-	18	15	23	7	37	100
				5	15	11	34	5	30	100
1	2	10	121	-	131.4	115.5	200.9	57.5	267.0	772.3
				53.4	131.4	115.5	366.6	57.5	267.0	991.4
				0	1.5	3.5	122.0	122.0	1.5	2.6
				121	1.5	3.5	121.5	122.0	1.5	3.3
				-	17	15	26	7	35	100
				6	13	11	37	6	27	100
1	2	10	151	-	142.0	135.9	250.3	715.8	288.4	888.1
				66.6	142.0	135.9	457.0	715.8	288.4	1161.4
				-	1.6	4.2	152.0	152.0	1.6	3.0
				151	1.6	4.2	151.5	152.0	1.6	3.8
				-	16	15	28	8	33	100
				6	12	12	39	6	25	100



Tabel 5 : Opportunitetskosten van een diesel capaciteitsdienst  
bij een jaarlijkse netto-trafiek van 10 mio ton.  
(miljoen BF; prijsniveau 1977).

2	1	10	61	-	108.7	183.3	100.2	19.5	220.7	632.4
				26.9	108.7	183.3	173.2	19.5	220.7	732.3
				-	1.2	2.3	60.8	60.8	1.2	1.8
				61.0	1.2	2.3	60.9	60.8	1.2	2.1
				-	17	29	16	3	35	100
				4	15	25	24	3	30	100
2	1	10	91	-	120.9	239.2	151.4	29.5	245.6	786.7
				40.1	120.9	239.2	260.5	29.5	245.6	935.8
				-	1.4	3.1	91.9	91.9	1.4	2.3
				91.0	1.4	3.1	91.5	91.9	1.4	2.7
				-	15	31	20	4	30	100
				4	12	26	29	3	25	100
2	1	10	121	-	127.9	274.4	184.4	35.9	259.9	882.6
				49.0	127.9	274.4	317.4	35.9	259.9	1064.5
				-	1.5	3.7	122.0	122.0	1.50	2.7
				121.0	1.5	3.7	121.6	122.0	1.50	3.2
				-	14	31	22	4	29	100
2	1	10	151	-	142.0	344.6	250.3	48.7	288.4	1073.9
				66.6	142.0	344.6	431.2	48.7	288.4	1321.4
				-	1.6	4.4	152.0	152.0	1.6	3.10
				151.0	1.6	4.4	151.6	152.0	1.6	3.8
				-	13	32	23	5	27	100
				5	11	26	32	4	22	100

Tenslotte zijn landkosten, energiekost en de onderhoudsbudgetten voor 'track repair' bijna proportioneel met DIST of, bij gelijke bruto tonnage; met de afgelegde treinkilometer. Het zijn dan de andere componenten die minder dan proportioneel met de afgelegde afstand toenemen, die uitsluitend verantwoordelijk zijn voor de mogelijke bronnen van 'afstandsdegressiviteit' (in een competitief prijzenstelsel). Die kosten zijn telkens de vergoeding van 'bewegende produktiefactoren' zoals rollend en tractiematerieel en de loonkosten van de treinbemanning.

#### 4. Toepassingen

De voorstelling van de eindresultaten en de selectie der iteraties is zuiver een zaak van wat men wil toelichten. De hiervoor geschetste berekeningen belichten vooral twee beleidselementen, de keuze van de technologie en de aangewezenheid van een afstandsdegressieve tarifiëring.

##### 4.1. Electrificatie

Nemen we een trafiek van resp. 5 en 10 mio ton of een 150 km traject. De jaarlijkse gebudgetteerde kosten zijn :

	elektrisch (mio BF 1977)	diesel	rendement bij elektrificatie
5 mio	712	778	+ 66
10 mio	1,161	1,321	+160

Het jaarlijkse surplus is vervolgens in financiële berekeningen te vergelijken met de investeringskost van bovenleiding en onderstations. Volgens de schaal der investeringen en de heersende rentevoet kunnen dan break-even criteria worden opgesteld. Die procedure is technisch uitvoerbaar maar negeert vooralsnog twee elementen :

- a) de kostenuitsparing is berekend op basis van ideale technische omstandigheden. Het negatieve rendement van diesels komt voort

van een hogere aankoopkost, een kortere levensduur, een hogere onderhoudskost en een langere jaarlijkse immobilisatie in depots en werkplaatsen. Veel componenten in die ratio's zijn rigied over de tijd en kunnen niet onmiddellijk worden gerecupereerd. De berekende cijfers zijn derhalve slechts geldig bij een trafiekexpansie. Bij contractie of stagnatie zijn ze geldig bij een zorgvuldige timing der investeringen (bv. volgens de afschrijvingsperioden, aanwerving, afvloeiing en herscholing der technici enz.).

- b) De berekeningsprocedures bekeken slechts één spoorlijn. In de werkelijkheid volgen de stellen routes die niet steeds 'onder draad' lopen. Van een dynamisch oogpunt is een elektrificatiepolitiek derhalve conservatief bij de aanvang. De investeringskosten liggen hoger vermits integrale assen dienen te worden geëlektrificeerd voor men een substantieel gedeelte der tractie prestaties kan converteren. Progressief zullen marginale investeringen een lagere kostprijs tonen, terwijl de baten proportioneel stijgen omwille van een beter geïntegreerde tractie. Ook dit punt toont de noodzaak aan van een zorgvuldige timing van het investeringsbeleid.

#### 4.2. Afstanddegressiviteit

Het tweede discussiepunt is in welke mate het feit dat de totale kosten niet proportioneel met de afstand toenemen een tarifiëring aan de hand van degressieve afstandsschalen kan motiveren.

De tabellen leveren een eerste indicatie over de mogelijkheden van afstandsdegressieve tarieven, door telkens de totale kosten te vergelijken met hun vaste component die geldt bij afstand = 1 km. Omwille van de weging der vaste kostencomponenten is de degressiviteit sterker bij zware geconcentreerde trafieken dan bij kleinere massa's. Het is derhalve duidelijk dat voor een lijndienst, die minder een capaciteitsconcept aanhangt, de mogelijkheden van degressieve afstandstarieven minder uitgesproken zijn, dit althans voor zover prijszetting op kostenbasis wordt verricht.

Een tweede benadering wordt verkregen door de kostenverschillen tussen twee welbepaalde afstanden te vergelijken. Daaruit kan men de zin en onzin van peregaties afleiden per kilometer (een vaste prijs per km) of per relatie (eenzelfde prijs voor twee relaties met een verschillende trajectlengte).

Vergelijken we daarvoor een 5 miljoen ton trafiek op een 61 km versus een 151 km traject. Op het langere traject ligt de totale opportuniteitskost 87 % hoger. Voor een trafiek van 10 miljoen netto ton is dat nog 80 %. Belangrijk bij deze vergelijkingen is dat de vergelijking gebeurt tussen vormingsstations waar stellen worden herschikt, en niet tussen oorsprong en bestemming van de lading. Het is inderdaad bij het herschikken der stellen dat wachttijden aanleiding geven tot vaste kostencomponenten, die op hun beurt de degressiviteit activeren.

## 5. Besluit

De hier voorgestelde berekeningen zijn voor verfijning vatbaar. Nochtans is een zekere vereenvoudiging nodig willen ze controleerbaar blijven en hun informatieve draagkracht behouden. Veelal leidt een zucht naar overdreven detail tot pre-occupaties die de algemene geldigheid kunnen aantasten, en introduceert vertekeningen doordat niet alle proces componenten eenzelfde detail toelaten. Relevante kostenanalyse vereist steeds een grote dosis 'judgment', zowel als standardisatie vereist is bij kostenvergelijkingen. In deze zin formuleren wij drie concluderende bemerkingsen.

- 1) Als analytische methode is de 'engineering method' geen exclusief betere techniek dan de methode der systeemequaties waarop de produktiefunctie is gebaseerd. Deze laatste heeft wel de neiging exclusieve 'produktiefactoren' te concipiëren. Daartegenover kiest de methode der procesbeschrijving produktiefactoren of procesclusters naargelang het de klaarheid in de

finale voorstelling ten goede komt. Zij kan tenslotte de finale berekeningsresultaten even exclusief in termen van produktiefactoren uitdrukken als volgens boekhoudkundig bepaalde kostenplaatsen. Meestal is de laatste werkwijze wel nuttiger wanneer prijszetting dient te gebeuren op basis van een complexe kostenstructuur.

- 2) Als empirische procedure is de 'engineering method' evenmin exclusief ten opzichte van statistische methoden. Steeds dient gekozen te worden tussen de representativiteit van het geheel (controle tegen dubbeltellingen) en de zin voor het detail (mogelijkheid tot simulaties). Voor een aantal deelaspecten is een exhaustieve uitwerking van procesfuncties overdreven en is het zinvol statistische schattingen te verrichten op complexe onderdelen (zoals bv. het onderhoud der sporen en vaste installaties). De finale keuze tendeert naar een compromis tussen informatieve restricties en de nood aan accurate beleids- en controle-informatie.
- 3) Als professionele activiteit laat de combinatie tussen procesfuncties en statistische analyse toe de technische doorlegdheid van ingenieurs, het allocatieve doorzicht van economen en de boekhoudkundige bedrevenheid van accountants te integreren. Die multi-professionele aanpak lijkt inderdaad het ei van Columbus bij een multi-disciplinaire problematiek.

Appendix : capaciteitsroutine

a) terminal roll-over ; TRMT

b) operating constants

1) reserve factor for rolling stock ; RFRS

$$RFRS = 1 - (WKDY - \emptyset PDY - FRDY) / \emptyset PDY$$

WKDY : working days

$\emptyset PDY$  : operating days

FRDY : repair days per year

2) commercial journey time ; TMJY

$$TMJY = (2 \times DIST / AJSP) + TRMT$$

DIST : journey distance

AJSP : average journey speed

number of daily journeys ; DYJY

$$DYJY = NRSH \times 8 / TMJY$$

NRSH : number of daily shifts

yearly train kilometer ; YTKM

$$YTKM = \emptyset PDY \times DIST \times DYJY$$

3) yearly train capacity ; TRCP

$$TRCP = \emptyset PDY \times DYJY \times NRCR \times CLCP \times CLFC$$

NRCR : number of cars in a train composition

CLCP : net car load capacity

CLFC : actual load factor

actual number of trains ; NRTR

$$NRTR = YLTF \times 10^6 / trcp$$

YLTF : annual traffic requirement

c) cost of rolling stock

capital stock of rolling stock ; ANRS

$$ANRS = PCCR \times NRCR \times RFRS \times \frac{RENT}{1 - \frac{1}{(1+RENT)^{LIFC}}}$$

PCCR : car purchase cost

RENT : discount rate

LIFC : average lifetime

$$TACR = ANRS \times NRTR$$

maintenance cost of rolling stock ; CMRS

$$CMRS = YMCR \times NRCR \times RFRS$$

YMRS : yearly car maintenance cost

$$TCMR = CMRS \times NRTR$$

d) cost of motive power

- 1) unit trains; in dit geval onderstelt de routine dat het tractie- en rollend materieel niet wordt ontkoppeld tenzij voor 'periodic repairs and overhauls'.

capital cost of motive power ; ANMP

$$ANMP = PCLC \times NRLC \times RFLC \times \frac{RENT}{1 - \frac{1}{(1+RENT)^{LIFL}}}$$

PCLC : engine purchase cost

NRLC : number of locomotives

RFLC : reserve factor

LIFL : average lifetime

$$TANL = ANMP \times NRTR$$

reserve factor ; RFLC

De berekening geschiedt niet op basis van een vaste tijd per jaar maar per kilometer (RLHR = number of workshop hours per 1000 kilometer) en verschilt in belangrijke mate tussen elektrische en dieseltractie en tussen lijnlocomotieven, motorstellen en railcars.

$$RFLC = 1 - |(WKDY - \emptyset PDY - (YTKM \times RLHR/8000))/\emptyset PDY|$$

2) De 'shuttle routine' onderstelt dat lijnlocomotieven op terminals worden ontkoppeld en na courant nazicht aan een uitgaand stel worden gehaakt, dit terwijl het binnengelopen stel wordt gelost en geladen. De rotatie van het tractiematerieel ligt dan in brutotermen hoger dan dat van het rollend materieel. Deze routine wordt hier pro memorie vermeld.

3) maintenance cost of locomotives ; CMMP

$$\text{CMMP} = \text{MCKM} \times \text{YTKM}$$

$$\text{TMMP} = \text{CMMP} \times \text{NRTR}$$

MCKM : maintenance cost (overhauls and repairs)

TMMP : total engine maintenance costs

e) track costs

Track costs omvatten de opportuïteitskost van de operatieve capaciteit en de onderhoudskost van 'permanent way and structures'. De eerste component is alleen belangrijk wanneer een groeistrategie tot heroriëntatie van bestaande middelen noopt en/of een investeringsproject met capaciteitsimplicaties een keuze noodzakelijk maakt tussen verschillende exclusieve alternatieven. Hier wordt een 'subsisting strategy' ondersteld, m.a.w. het bedrijf wordt als een 'going concern' aanzien waar alleen de tweede component wordt verwerkt.

De onderhoudskost van infra- en super structuur heeft twee componenten. Een vaste kost per kilometer (bijvoorbeeld) omvat alle kosten van nazicht die niet variëren met de trafiek densiteit en wordt als TMFC voorgesteld :

$$\text{TMFC} : \text{TMFX} + \text{TRNR} (\text{TRFX} + \text{TREL})$$



Met TMFX : een minimale uitgave per kilometer waaronder, bv.  
 om veiligheidsredenen geen trafiek mogelijk is  
 TRNR : aantal parallelle sporen op een bedding  
 TRFX : marginale vaste onderhoudskost per additioneel spoor.  
 Deze kan lager liggen voor een tweede spoor (zelfs negatief zijn) maar zal voor een derde spoor terug hoger liggen.  
 TREL : surcharge voor onderhoud der elektrische bovenleiding en onderstations. Meestal is ook deze component als vast aanzien (schilderen der palen en annuïteit op de vernieuwing van de draden). Soms kan hij gedeeltelijk variëren met de trafiekdensiteit (bv. breukpunten bij het afspringen van vonken). In de hiernavolgende toepassing wordt TREL per eenheid van trafiekdensiteit toegewezen als 'TMEL' zodat hier  $TREL = 0$ .

De tweede component varieert met de trafiekdensiteit, bijvoorbeeld uitgedrukt door de bruto-tonkilometer 'GPTK' :

$$GPTK = YTKM \times NRCR \times NRTR \times |(CLCP \times CLFC) + CRTR|$$

met CRTR : de tarra van een wagen als enige additionele waarde.

De totale onderhoudskost per kilometer wordt dan :

$$TMTC = |(TMMC + TMEL) \times GPTK| + TMFC$$

met TMMC : de geschatte marginal onderhoudskost per bruto tonkilometer

#### f) energy costs

De totale energiekost is een typische gebruikerskost :

$$CENC = GPTK \times ENCS \times ENPR$$

diē nagenoēg proportioneel verloopt met de trafiekdensiteit,

ENCS : een gemiddelde consumptie per brutotonkilometer, die echter per technologie verschilt, en

ENPR : de gemiddelde factorkost.

#### g) bemannig

De 'cost of operating staff' (PRCT) omvat de jaarlijkse remuneratie van de treinbemannig die worden aangepast voor algemeen beheer (inclusief personeel van de vaste installaties), diverse vormen van verlet en vakantiedagen. Met 30 % voor de laatste correctie en tweemaal 10 % voor de twee eerste wordt

een factor van 1.57 bekomen zodat :

$PRCT = 1.57 (WGDR \times NRSR \times 2 \times NRTR)$

WGDR : bruto loon ex-financiële dienst en

NRSR : aantal shifts per continu-treinstel.

h) capacity costs

Zoals eerder werd geargumenteerd is de enige verrekenende capaciteitskost, de kost voor het bezit van de spoorbedding, de zogenaamde 'right-of-way'. Dit cijfer wordt verkregen door een perpetuele annuïteit op de gemiddelde grondwaarde van een 14 m brede strook langsheen de sporen ( en 6 m voor elk supplementair spoor, inclusief berm en/of gracht).

Bibliografie

- 1/ BORTS, G.H., The estimation of rail cost functions, Econometrica, January 1960, Vol.28/1, p.108-131.
- 2/ CARSBURG, B., The economics of business decisions, Penguin, Harmondsworth, 1975, 328 p.
- 3/ CLAESSENS, E.M., Methods of applied railway economics, the case of the E.E.G., UFSIA, Antwerpen, 1022 p.
- 4/ CLAESSENS, E.M., Bedrijfseconomische aspecten van de spoorwegplanning, SESO-werknota nr.7658, mei 1976, 38 p.; Sociaal-Economisch Tijdschrift, 1976, nr.5, p.723-745.
- 5/ FRIEDLANDER, A., The social costs of regulating the railroads, The American Economic Review, Vol.57/2, May 1967, suppl., p.230-238.
- 6/ GRAYSON, H., The econometric approach, a critical analysis, Journal of Political Economy, Vol.56/3, p.253-259.
- 7/ HOROWITZ, H., Decision making and the theory of the firm, New York, Holt, Rinehart & Wilson, 1970, xii + 468 p.
- 8/ JOHNSTON, J., Statistical cost functions, a re-appraisal, Review of Economics and Statistics, Vol.40/4, November 1958, p.339-350.
- 9/ KLEIN, L.R., A Textbook of Econometrics, 2nd.ed., Prentice Hall, Englewood, 1974, x + 436 p.
- 10/ KRESGE, D.T. & P.O. ROBERTS, Techniques of transport planning, J.R. MEYER editor, Vol.2, : Systems Analyses and Simulation Models, Washington, Brookings Institution, 1971, 228 p.
- 11/ LESOURNE, J., Technique Economique et Gestion Industrielle, 2nd. edition, Paris, Dunod, 1971, 44 + 627 p.
- 12/ MEYER, J.R., Some methodological aspects of statistical costing techniques as applied to the transportation industry, American Economic Review, Vol.48/2, May 1958, p.209-235.

- 13/ MEYER, J.R., M.J. PECK, J. STENASON & Ch. ZWICK, The Economics of Competition in the Transportation Industry, Cambridge, Harvard University Press, 1969, 359 p.
- 14/ NELSON, J.C., Railway Transportation and Public Policy, Washington D.C., Brookings Institution, 1959, xiii + 512 p.
- 15/ NERLOVE, M., Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions, Amsterdam, North Holland, 1965, vi + 193 p.
- 16/ ROBINSON, J., The Economics of Imperfect Competition, 2nd.ed. London, Macmillan, 1969, xx + 352 p.