



STUDIECENTRUM VOOR ECONOMISCH EN SOCIAAL ONDERZOEK

CONGESTIE EN VERVOERSWIJZEKEUZE
EEN DYNAMISCHE BENADERING VAN
INTERMODALE EVENWICHTSVORMING

G. BLAUWENS en A. FYENS

rapport 7876

oktober 1978

Universitaire Faculteiten St.-Ignatius
Prinsstraat 13 - 2000 Antwerpen

D/1978/1169/07

Congestie en Vervoerswijzekeuze
Een dynamische benadering van intermodale evenwichtsvorming

G. BLAUWENS en A. FYENS

INLEIDING

In verband met de concurrentie tussen vervoerswijzen in steden wordt wel eens gewaagd van de "vicieuze cirkel" van het openbaar vervoer. Deze vicieuze cirkel wordt in gang gezet door een toevallige overschakeling van een beperkt aantal reizigers naar de auto. Omdat het autoverkeer toeneemt daalt de snelheid van de auto's en daalt ook de snelheid van de tram of de bus die dezelfde verkeersruimte gebruiken. De tram of de bus worden echter meer getroffen dan de auto's zelf omdat zij zich minder soepel aan het verkeer kunnen aanpassen. Trouwens, het volstaat dat de snelheid van de personenauto's en die van het gemeenschappelijk vervoer eenvoudig in een constante verhouding staan, opdat een algemene verlaging van de verkeerssnelheid een groter absoluut aantal minuten voor het gemeenschappelijk vervoer zou impliceren dan voor de privé auto. De verkeerscongestie verhoogt dus de tijdwinst van de privé auto tegenover het gemeenschappelijk vervoer. Daardoor schakelen nieuwe reizigers naar het autogebruik over. Dat veroorzaakt bijkomende verkeersdrukke en nog grotere tijdverliezen in het gemeenschappelijk vervoer. Weer schakelen reizigers over naar de auto, enz...

De theorie van de vicieuze cirkel wordt soms aangewend om een tijdelijke subsidie of een belangrijke eenmalige inspanning in het openbaar vervoer te verdedigen. Deze ingreep zou de vicieuze cirkel op gang brengen in de tegengestelde zin:

Een aantal reizigers schakelen naar de tram of de bus over, waardoor het stadsverkeer minder druk wordt. Dat verhoogt de snelheid van het openbaar vervoer zodanig dat nog meer reizigers aangetrokken worden. Dit betekent opnieuw een verlichting van het stedelijk vervoer, met opnieuw een snelheidsverbetering voor de openbare transportmiddelen, waardoor nogmaals reizigers hun auto laten staan, enz.

Om na te gaan of zulk sneeuwbaaleffect werkelijk optreedt, kan men niet steunen op de gebruikelijke statische modellen van transportplanning. Het model moet dynamisch zijn. Essentieel in de theorie van de vicieuze cirkel is immers de vertraging in het gedrag van de reizigers: men schakelt over naar een andere modus en de snelheidsveranderingen van de auto en het openbaar vervoer komen volledig tot stand vooraleer men opnieuw overschakelt naar een andere modus.

In een vorig SESO-rapport (1) werd reeds een dynamisch model ontwikkeld, dat zulke vertragingen uitdrukkelijk vooropstelt. Daaruit bleek dat in sommige gevallen de vicieuze cirkel zal functioneren, in andere gevallen niet. Alles hangt af van het verloop der betrokken functies.

In onderhavig rapport willen wij deze conclusies wat concreter maken. Wij voeren numerieke vraag- en congestiefuncties in, die werkelijk geschat werden in de realiteit van het stedelijk verkeer. Daarbij concentreren wij ons op tijdsverschillen en laten wij de kostprijnsverschillen weg. Het is inderdaad gebleken dat in de praktijk de vervoerswijzekeuze een zeer geringe prijselasticiteit heeft, terwijl zij wel sterk gevoelig is voor de tijdsfactor.

(1) G. BLAUWENS, De intermodale evenwichtsvorming, SESO-werknota 7767.

Bovendien verlaten wij de lineaire functievormen die in het vorige rapport nog gebruikt werden om de theoretische uiteenzetting eenvoudig te houden. Wij keren ons nu naar meer realistische specificaties.

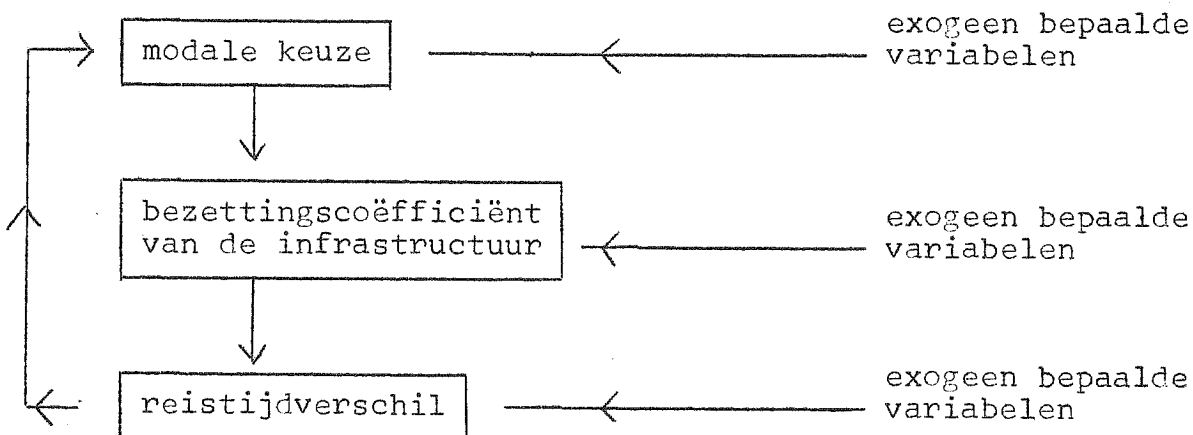
In paragraaf 1 bespreken wij de opbouw van het model en in paragraaf 2 de dynamische vervoerswijzekeuze die uit het model resulteert.

§1. Opbouw van het model

Wij bestuderen de concurrentie tussen auto en bus. De totale vraag voor auto en bus samen wordt als inelastisch beschouwd. Alleen de verdeling van de vraag over de twee modi wordt door het model behandeld.

Wij nemen aan dat de reiziger zijn keuze laat afhangen van het reistijdverschil tussen de modi. Dit reistijdverschil echter zal op zijn beurt beïnvloed worden door de keuze van de reizigers.

Schematisch voorgesteld, verloopt deze wisselwerking als volgt:



We zullen deze wisselwerking verder a.h.v. een model bestuderen. Algemeen geformuleerd ziet het er zo uit:

$$V_A = f(T)$$

$$V_B = V - V_A$$

$$T = f(Z, X_i)$$

$$Z = f(V_A, V_B, \text{cap.})$$

waarbij V_A = vraag naar vervoer per auto

V_B = vraag naar vervoer per bus

$V = V_A + V_B$ = totaal aantal reizigers

T = reistijdverschil tussen de 2 modi (1)

Z = bezettingscoëfficiënt van de infrastructuur

cap = capaciteit van de weg

X_i = vector van andere reistijdelementen dan de bezettingscoëfficiënt.

We kunnen nu reeds inzien dat naarmate auto en bus anders reageren op congestie, het reistijdverschil zal veranderen en zo ook de modale verdeling.

Het model waarmee we werken valt uiteen in 3 delen: relaties die de intermodale verdeling van de vraag weergeven, een congestiefunctie en een aantal definitievergelijkingen die het model vervolledigen.

1.A. Modale-keuzefunctie

1.A.1) Vorm

We opteren voor een stochastische modale-keuzefunctie. Zij is stochastisch in die zin dat de afhankelijke variabele gelijk is aan de waarschijnlijkheid P_i dat een individu een bepaald vervoermiddel i zal kiezen: $0 \leq P_i \leq 1$.

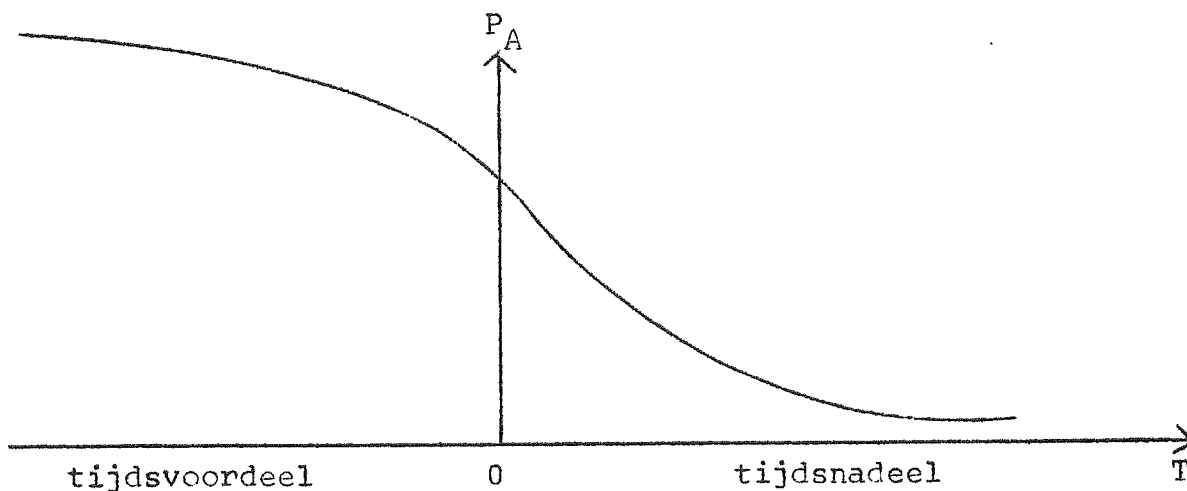
Men neemt gewoonlijk aan dat de relatie tussen de waarschijnlijkheid dat men voor een bepaalde modus opteert en de verklarende variabelen het best voorgesteld wordt door een "S"-vormige curve

(1) Het reistijdverschil zullen we definiëren als reistijd~~auto~~ - reistijd~~bus~~. $T > 0$ betekent dus dat men met de auto meer tijd nodig heeft dan met de bus (de auto heeft dan een tijdsnadeel).

(zie grafiek 1) (1).

Er zijn verschillende functies die aan deze curve-vorm beantwoorden o.a. probit-, arctan- en logit-functies (2).

Grafiek 1. Typische relatie tussen de waarschijnlijkheid P_A van keuze voor de auto en het tijdsverschil T tegenover de bus



Wij opteren voor een logit-functie:

$$P_A = \frac{e^{G(K_i)}}{1 + e^{G(K_i)}} \quad (1.1)$$

waarbij men kan aannemen dat G een lineaire functie is van de verklarende variabelen K_i .

(1) Zie o.a. Thomas A. DOMENCICH en Daniel McFADDEN, Urban Travel Demand, A Behavioral Analysis, A Charles River Associates Study, 1975, p.56; Martin G. RICHARDS en Moshe E. BEN-AKIVA, A Disaggregate Travel Demand Model, Saxon House Studies, 1975, p.43; Shalom REICHMAN en Peter R. STOPHER, Disaggregate Stochastic Models of Travel-Mode Choice, Highway Research Record nr.369, 1971, p.95; Peter L. WATSON, The Value of Time; Behavioral Models of Modal Choice, Lexington Books, 1974, p.22 en p.111; F.X. DE DONNEA, The Determinants of Transport Mode Choice in Dutch Cities, Rotterdam, 1971, p.36.

(2) Voor een bespreking van deze en andere probabilistische modale-keuzefuncties verwijzen we o.a. naar: Peter L. WATSON, op.cit., pp. 102-123 en Th. DOMENCICH en D. McFADDEN, op.cit., pp.56-65.

Zoals we reeds zegden, zullen wij enkel het reistijdverschil als verklarende variabele weerhouden. Daarbij stellen wij dat de reizigers met één periode vertraging reageren op dit tijdsverschil (1).

De modale-keuzefunctie wordt dan:

$$P_A = \frac{e^{a+bT_{-1}}}{1 + e^{a+bT_{-1}}} \quad (1.2)$$

T_{-1} = tijdsverschil in vorige periode

a en b = parameters

en dus:

$$P_B = 1 - P_A = \frac{1}{1 + e^{a+bT_{-1}}} \quad (1.3)$$

1.A.2) Bespreking van de parameters

a) De parameter b duidt de gevoeligheid van de reizigers voor het reistijdverschil aan.

Als we aannemen dat de reistijd als ongewenst ervaren wordt, zodat elke reistijdvermindering een verhoging van het nut met zich meebrengt, zal b negatief zijn. Bij een vermindering van het comparatief reistijdvoordeel van de auto t.o.v. de bus (T stijgt: zie de definitie van T) zal de modale keuze in het voordeel van de bus (2) wijzigen.

Hoe kleiner b (of hoe groter de absolute waarde van b), hoe bruusker de overgang van één modus naar de andere verloopt (steiler middengedeelte van de curve).

(1) Zie G. BLAUWENS, op.cit., p.11.

(2) Algebraïsch:

$$\frac{dP_A}{dT_{-1}} = \frac{d\left(\frac{e^{a+bT_{-1}}}{1+e^{a+bT_{-1}}}\right)}{dT_{-1}} = \frac{e^{a+bT_{-1}}}{(1+e^{a+bT_{-1}})^2} \cdot b = \left. \begin{array}{l} P_A \cdot P_B \cdot b < 0 \\ \text{en } P_A > 0 \\ P_B > 0 \end{array} \right\} \rightarrow b < 0$$

b) Door de constante a komt de invloed van andere factoren dan T_{-1} of P_A tot uiting.

Als $a < 0$ (respectievelijk $a > 0$) zal de modale keuze meer in de richting van de bus (respectievelijk auto) gaan. Dit betekent immers dat andere factoren dan T_{-1} (vb. lager inkomen, veel buslijnen) meer druk gaan uitoefenen om met de bus te rijden.

1.A.3) Numerieke voorbeelden van modale keuzefuncties

de Donnea (1) schatte voor Rotterdam en Amsterdam modale verdeelingsmodellen. Wanneer enkel T als verklarende variabele voorkwam, vond hij voor Rotterdam de volgende functie:

$$P_A = \frac{e^{1.0103-0.0329T}}{1 + e^{1.0103-0.0329T}}$$

Bracht hij ook het inkomen (= gemiddeld inkomen van klasse waartoe reiziger behoort) in het model, dan bekwam hij:

$$P_A = \frac{e^{0.7842-0.0042y \cdot T}}{1 + e^{0.7842-0.0042y \cdot T}} \quad (2)$$

Vullen we b.v. 6 en 30 in voor y (= extreme waarden voor y in de Donnea's steekproef) dan vinden we -0.0252 en -0.126 als waarden voor de parameter b (3).

1.A.4) De totale vraag naar auto- en busvervoer

Als de kans dat men de auto neemt P_A is, zal de totale vraag naar autovervoer

$$V_A = P_A \cdot V \quad (1.4)$$

zijn en de totale vraag naar busvervoer

$$V_B = V - V_A = (1 - P_A) \cdot V = P_B \cdot V \quad (1.5)$$

waarbij V = gegeven aantal reizigers.

(1) F.X. de DONNEA, op.cit., pp.108-109.

(2) y = inkomen in duizend gulden per jaar.

(3) In de schattingen van de Donnea werd geen time-lag ingebouwd. De schatting geschiedt echter op een cross-sectie, zodat de parameters ook het effect aangeven dat zich met een periode vertraging voordoet.

1.B. Congestiefunctie

1.B.1) Auto

Wij zoeken een congestiefunctie die de relatie aanduidt tussen de tijd die men nodig heeft om met de wagen een bepaald traject af te leggen en het aantal wagenequivalenten (1) dat gebruik maakt van die weg.

Hoe meer auto's er zijn, hoe lager de snelheid wordt die men op het traject kan ontwikkelen. De "maximum capaciteit" van de weg zullen we definiëren als het aantal wagenequivalenten dat een snelheid nul met zich meebrengt. Als "bezettingscoëfficiënt" stellen wij:

$$Z = N/\text{cap} \quad (2.1)$$

voor N = aantal wagenequivalenten

cap = maximum capaciteit.

In de literatuur (2) vindt men heel wat vormen van congestiefuncties. Wij zullen de relatie tussen de snelheid en het aantal wagenequivalenten die Smeed en Wardrop (3) vooropstellen, gebruiken. Hierbij geldt geen time-lag. Verkeerssnelheden reageren onmiddellijk op de verkeersdrukke:

$$N/\text{Br} = C - dS^2 \quad (2.2)$$

S = snelheid

Br = breedte weg.

(1) 1 bus = ϕ wagenequivalenten.

(2) Zie o.a. Martin WOHL en Brian V. MARTIN, Traffic System Analysis for Engineers and Planners, New York, 1967, pp.331-338.

(3) - R.J. SMEED, Traffic Studies and Urban Congestion, Journal of Transport Economics and Policy, 1967, vol.1, p.34 ;
 - J.G. WARDROP, Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, part II, 1952, pp.325-378

stellen de relatie $N/\text{Br}=68-0.13S^2$ voor (S uitgedrukt in mijlen/uur).

Als $N=0$ kan uit (2.2) de maximale snelheid van de auto afgeleid worden:

$$S_{\max A} = \sqrt{c/d} \quad (2.3)$$

Deze hangt af van de omstandigheden (o.a. aantal kruispunten, trambedding, zwaar verkeer...) voorgesteld door de parameters c en d . De maximale capaciteit zal bereikt worden bij een snelheid nul. Uit (2.2) volgt dan:

$$\text{cap} = c \cdot Br \quad (2.4)$$

Als men (2.2) wat omvormt en cap invult, bekomt men:

$$N = \text{cap} \left(1 - \frac{S^2}{S_{\max A}^2} \right) \quad (2.5)$$

of

$$Z = N/\text{cap} = 1 - \frac{S^2}{S_{\max A}^2} \quad (2.6)$$

of nog

$$S = S_{\max A} \cdot \sqrt{(1-N/\text{cap})} = S_{\max A} \cdot \sqrt{(1-Z)} \quad (2.7)$$

De tijd t_A (in minuten) die men over een bepaalde afstand (l) doet, is uit (2.7) gemakkelijk af te leiden:

$$t_A = \frac{l}{S_{\max A} \cdot \sqrt{(1-Z)}} \cdot 60 \quad (2.8)$$

Smeed (1) stelde dat voor Centraal Londen en heel wat andere steden de maximale snelheid van een auto 36.8 km/uur is. Tabel I geeft de

(1) R.J. SMEED, op.cit., p.39 e.v.: 23 mijl/uur (=36.8 km/uur). De maximale snelheid kan ook berekend worden uit de formule $N/Br = 68 - 0.13S^2$.

relatie tussen bezettingscoëfficiënt en rijtijd/km (in minuten) die we uit (2.8) kunnen afleiden voor ($S_{\max} = 36.8$ km/uur). Zie ook grafiek 2.

Tabel I. Relatie tussen bezettingscoëfficiënt en rijtijd/km (auto's)

Bezettingscoëfficiënt	Tijd/km in minuten
0	1.61
0.1	1.71
0.2	1.82
0.3	1.95
0.4	2.1
0.5	2.31
0.6	2.58
0.7	2.98
0.8	3.65
0.9	5.16
0.93	6.16
0.98	11.53
0.995	23.1
0.99995	230.6

1.B.2) Bus

Wij zullen 2 veronderstellingen maken.

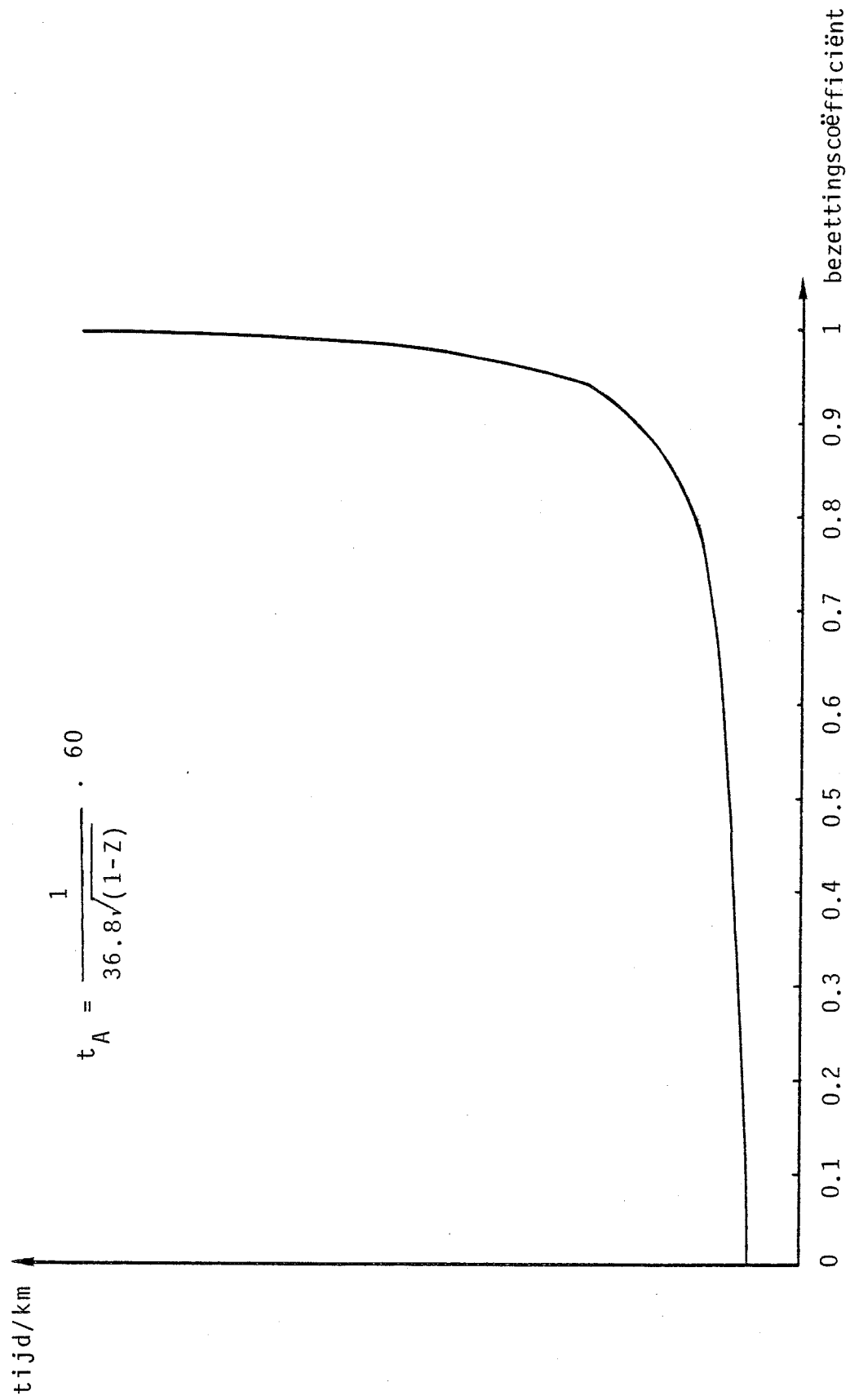
a) bus rijdt op voorbehouden strook

We nemen aan dat de bus steeds tegen zijn maximale snelheid (1) kan rijden. De rijtijd is dus steeds:

$$t_B = \frac{l}{S_{\max B}} \cdot 60 \quad (2.9)$$

(1) Door de rem- en optrekmanoeuvres aan de halten zal de maximale snelheid van de bus lager liggen dan die van de auto.

Grafiek 2. Relatie tussen bezettingscoëfficiënt en tijd/km in minuten



b) bus en auto maken gebruik van hetzelfde weggedeelte

Bus en auto ondervinden beide hinder van congestie. Wij onderzoeken het geval waarin hun snelheden in een constante verhouding blijven.

1.C. Definitierelaties

Om het model te vervolledigen, moeten we nog enkele definitierelaties inbouwen.

1.C.1) Aantal auto's en bussen

In een bus of auto zitten gewoonlijk meerdere personen. De "gemiddelde bezetting" bepaalt mee hoeveel auto's en bussen van de weg gebruik maken.

$$A = V_A / \lambda_A \quad (3.1)$$

$$B = V_B / \lambda_B \quad (3.2)$$

A = aantal auto's

B = aantal bussen

λ_A = gemiddelde bezetting auto

λ_B = gemiddelde bezetting bus

1.C.2) Aantal wegenequivalenten

Wanneer de bussen niet over een eigen strook beschikken en dus hetzelfde weggedeelte gebruiken als de auto's, moeten we bij het berekenen van de bezettingscoëfficiënt weten hoeveel wagenequivalenten één bus vertegenwoordigt.

$$1 \text{ Bus} = \phi N \quad (3.3)$$

Het totaal aantal wagenequivalenten bedraagt dan:

$$N = A + \phi \cdot B \quad (3.4)$$

Als de bus op eigen strook rijdt: $N = A$.

1.C.3) Bezettingscoëfficiënt

Zoals we vroeger reeds definieerden, is

$$Z = N/\text{cap} \quad (3.5)$$

De capaciteit zullen we als gegeven beschouwen.

1.C.4) Totaal reistijdverschil

Naargelang de bezettingscoëfficiënt zal de tijd die men nodig heeft om een bepaald traject af te leggen, toe- of afnemen. De totale reistijd bestaat echter nog uit andere elementen dan de rijtijd:

- parkeertijd (auto)
- opstaptijd aan halten (bus) (1)
- wachttijd (bus)
- wandeltijd (bus)
- tijd om "voorafstand" en "na-afstand" (2) af te leggen (auto+ bus).

Het spreekt vanzelf dat de reizigers aan al deze tijdselementen niet hetzelfde belang zullen hechten.

Een studie in Parijs (3) wees uit dat de waarde die aan een besparing van wandeltijd gehecht wordt, 1.75 maal zo groot is dan die van de rijtijd, terwijl wachttijd 3 maal hoger geschat wordt dan "in-vehicle-time".

(1) J. BUSSCHAERT en E. VAN BROEKHOVEN, The cost of time and the demand for passenger transportation, SESO-werknota 7312/851, januari 1973, p.A.9, stellen dat in Antwerpen gemiddeld om de 375 meter een halte voorkomt waar 0.3 minuten opstaptijd verloren gaat.

(2) "voorafstand" gebruiken we hier om de afstand van woonplaats naar het begin van het beschouwde traject aan te duiden; "na-afstand" is dan de afstand tussen het einde van de weg en het werk.

(3) IAURP, Analyse du choix du mode de transport en région parisienne, Cahiers de l'IAURP, vol.17-18, n°2, 1969; zie ook D.A. QUARMBY, Choice of Travel Mode for the Journey to Work, Journal of Transport Economics and Policy, 1969, vol.1, n°3, p.237.

In het model zullen we het verschil van alle reistijdelementen van de 2 modi (buiten de eigenlijke rijtijd) voorstellen door een constante t . Impliciet zitten hierin de verschillende tijdswaarde-
ringen.

Naarmate de waarde van t toeneemt, zal het rijtijdverschil minder invloed uitoefenen op het totale reistijdverschil. De modale keuze zal dan minder afhangen van de bezettingscoëfficiënt.

1.D. Herformulering van het model

$$(1) P_A = \frac{e^{a+bT-1}}{1+e^{a+bT-1}}$$

$$(2) V_A = P_A \cdot V$$

$$(3) V_B = V - V_A$$

$$(4) A = V_A / \lambda_A$$

$$(5) B = V_B / \lambda_A$$

$$(6) a) N = A + \phi \cdot B$$

$$b) N = A$$

$$(7) Z = N / \text{cap}$$

$$(8) t_A = \frac{1}{S_{\max A} \sqrt{(1-Z)}} \cdot 60$$

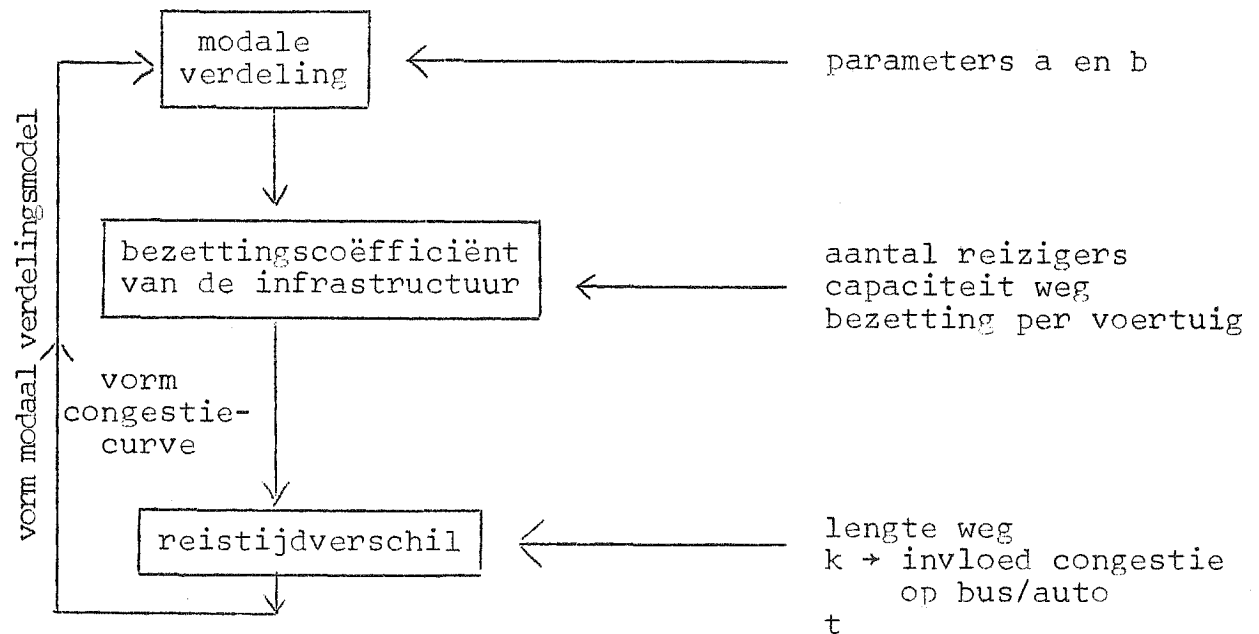
$$(9) a) t_B = k \cdot t_A$$

$$b) t_B = \frac{1}{S_{\max B}} \cdot 60$$

$$(10) T = (t_A - t_B) + t$$

a) "gemengd" verkeer: bus en auto maken gebruik van hetzelfde weggedeelte;

b) "gescheiden" verkeer: bus rijdt op voorbehouden strook.

Schematisch:Ingekort model:

$$(1) V_A = \frac{e^{a+bT-1}}{1+e^{a+bT-1}} \cdot V$$

$$(2) V_B = V - V_A$$

$$(3) a) Z = (V_A / \lambda_A + \phi \cdot V_B / \lambda_B) / \text{cap}$$

$$b) Z = (V_A / \lambda_A) / \text{cap}$$

$$(4) a) T = (1-k) \frac{60.1}{S_{\max A} \sqrt{(1-Z)}} + t$$

$$b) T = 60.1 \left(\frac{1}{S_{\max A} \sqrt{(1-Z)}} - \frac{1}{S_{\max B}} \right) + t$$

§2. Dynamische evenwichtsvorming

Op de volgende vier grafieken is de dynamische evenwichtsvorming bestudeerd voor vier verschillende gevallen. Elke grafiek geeft 2 curven:

- a) de curve $T = f(Z)$, welke het tijdsverschil tussen de twee modi aangeeft als resultaat van de bezettingscoëfficiënt Z ;
- b) de curve $Z = h(T_{-1})$, welke de bezettingscoëfficiënt Z geeft als resultaat van de op het tijdsverschil T_{-1} gebaseerde keuze tussen auto en bus.

In de vier gevallen bestudeert men een tijdelijke shift van de curve $Z=h(T_{-1})$, veroorzaakt door een afwijking in het keuzegedrag van de reizigers of in het aantal reizigers. Het pijlenschema, vanuit een punt op $T=f(Z)$, geeft aan hoe de dynamische terugkeer naar het evenwicht geschiedt. De horizontale pijl geeft de invloed van het tijdsverschil T , via verandering in de vervoerwijzekeuze, op de bezettingscoëfficiënt Z van volgende periode. De verticale pijl toont aan hoe tijdens die volgende periode de nieuwe bezettingscoëfficiënt Z met een nieuw tijdsverschil T gepaard gaat.

In gevallen 1 en 3 nadert het systeem terug naar het evenwichtspunt, in gevallen 2 en 4 evolueert het systeem steeds verder van het evenwicht weg. Geval 2 is een typische vicieuze cirkel waar een kleine toename van de verkeersbezetting Z zeer snel leidt tot een nog intenser gebruik van de auto, terwijl een kleinere vermindering in het autogebruik gevolgd wordt door nog verdere overschakelingen naar de bus, met dalende waarden van Z .

Geval 1

In geval 1 maken de bus en auto gebruik van dezelfde infrastructuur en bedraagt de rijtijd van de bus steeds 1.4 maal die van de auto. Bij toenemende congestie wordt de bus, in minuten uitgedrukt, dus sterker getroffen dan de auto, wat zich uit in het dalende verloop van $T=f(Z)$. (Immers $T = \text{tijdsduur auto} - \text{tijdsduur bus}$).

De parameters in dit geval zijn $\lambda_A=1.2$, $\lambda_B=60$, $cap = 3000$, $a=0$, $b=-0.02$ en $t=-7.4$ terwijl in de bepaling van Z één bus telt voor 2.5 wagenequivalenten. $V = 4350$.

Er treedt geen vicieuze cirkel op. Na een afwijking keert het systeem naar het evenwicht terug.

Geval 2

Ook hier hebben auto en bus een constante verhouding 1.4 in rijtijd. De parameters zijn $\lambda_A=1.2$, $\lambda_B=60$, $cap = 3000$, $a=0$, $b=-0,08$, $t=-7.4$, $V = 3700$ en 1 bus = 2.5 wagenequivalenten.

Het essentiële verschil met geval 1 ligt in de hellingen van de curven: $T=f(Z)$ snijdt $Z=h(T_{-1})$ langs boven en dit veroorzaakt het explosieve karakter van evenwichtsafwijkingen. Er functioneert een vicieuze cirkel.

Geval 3

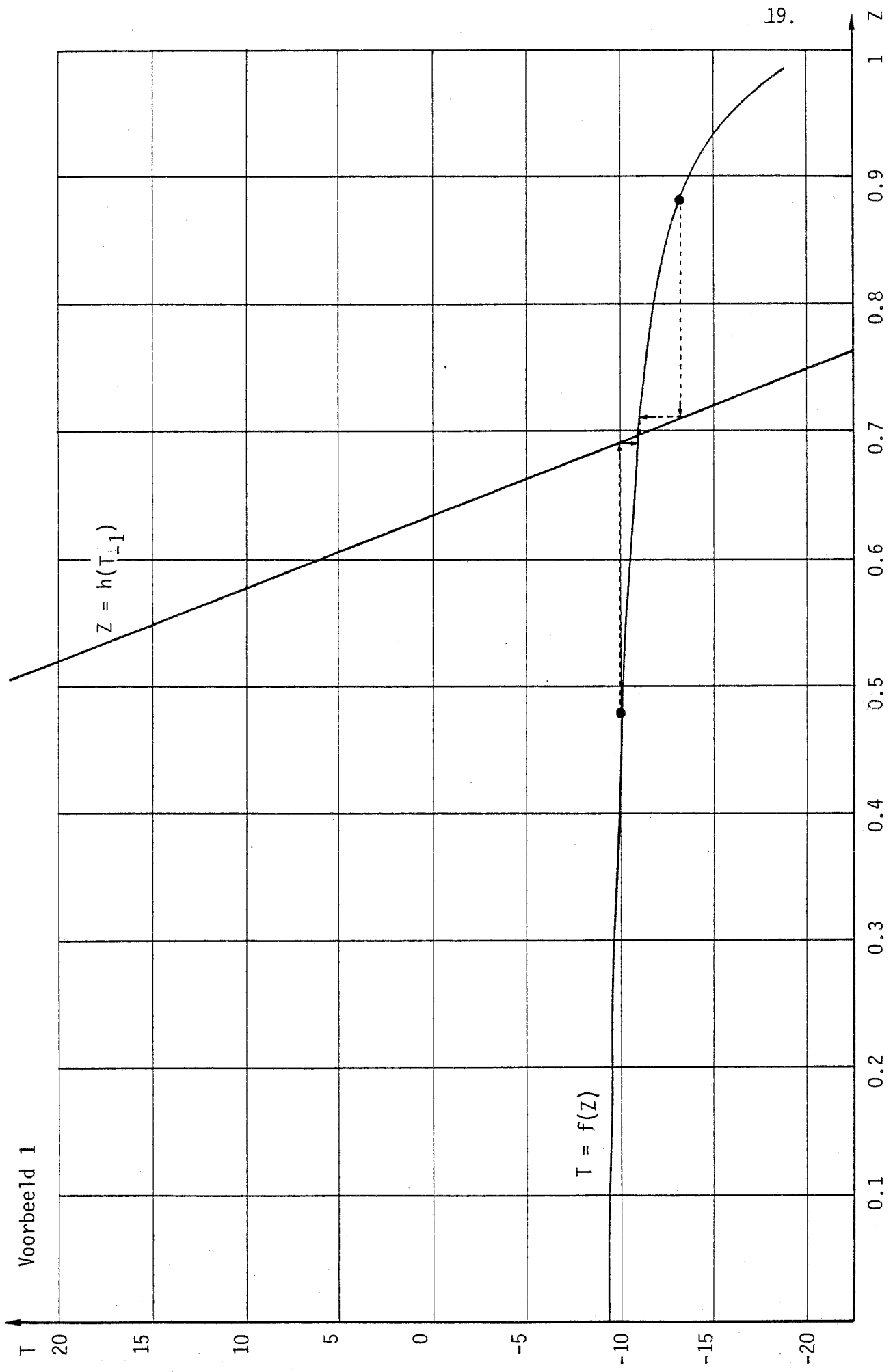
In geval 3 heeft de bus een eigen rijstrook, waar zij haar commerciële snelheid kan handhaven op 27 km/u, ongeacht de verkeersbezetting Z . Alleen auto's worden dus door de toenemende bezetting getroffen, wat zich uit in het stijgend verloop van $T=f(Z)$.

De parameters bedragen $\lambda_A=1.2$, $\lambda_B=60$, $cap = 2250$, $a=0$, $b=-0.02$, $t=-7.4$, $V = 4000$ en 1 bus = 2.5 wagenequivalenten.

Men merkt dat de terugkeer naar het evenwicht gedempt oscillerend verloopt.

Geval 4

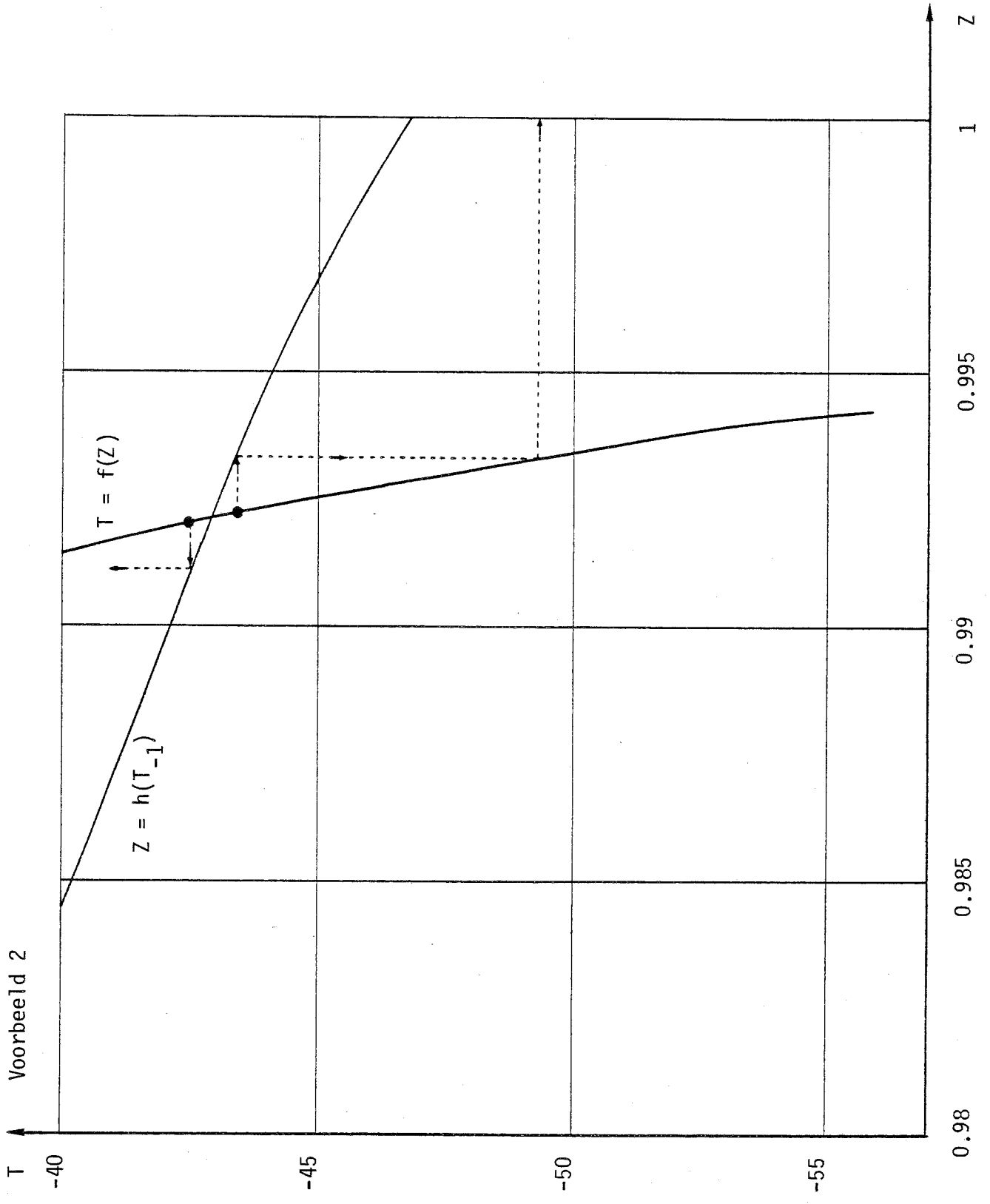
Geval 4 is identiek met geval 3, op dit verschil na dat $b=-0.10$ en dat $V = 3850$. De oscillaties zijn niet langer gedempt. Zij zijn explosief.

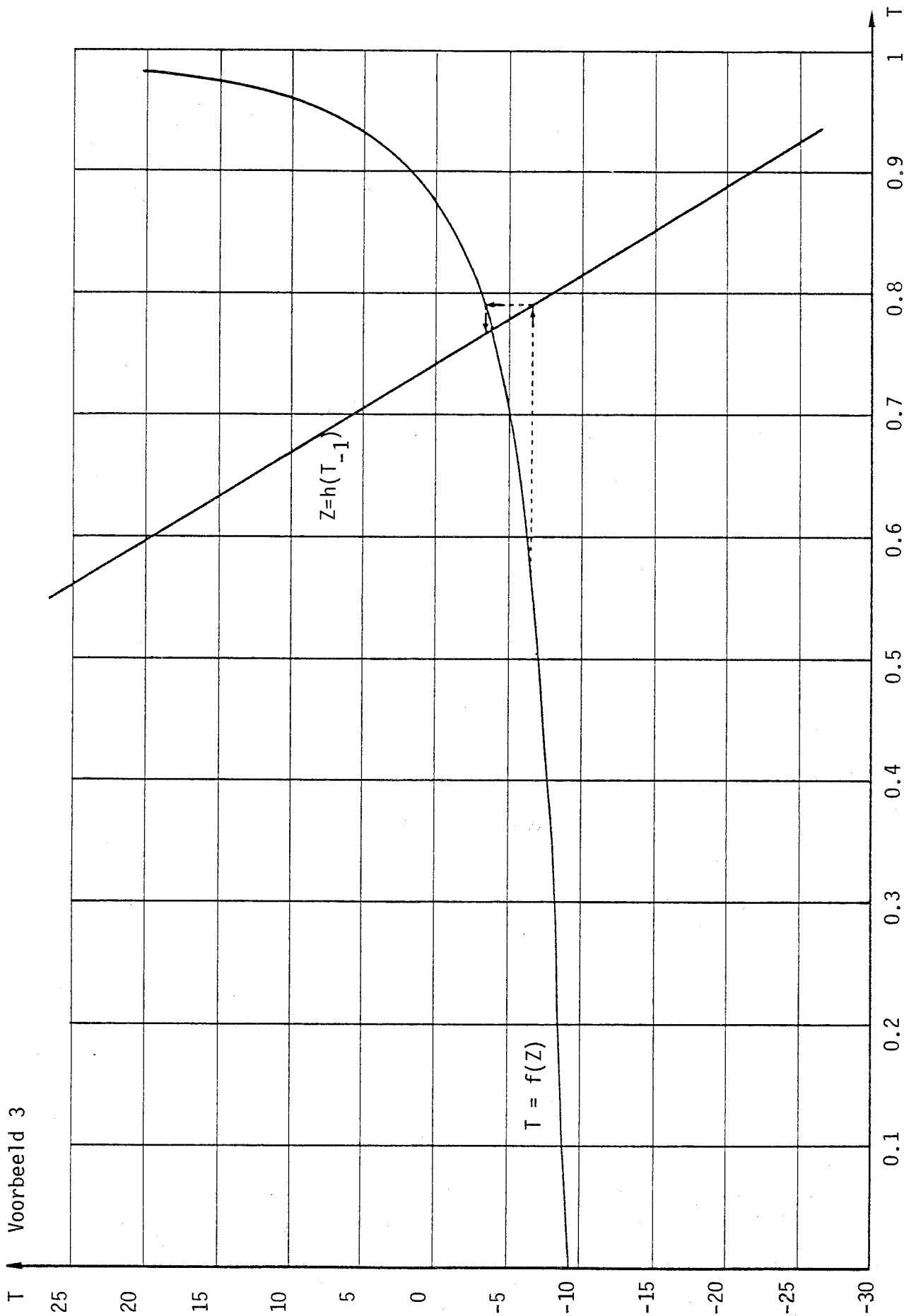


Voorbeeld 1

$Z = h(T)$

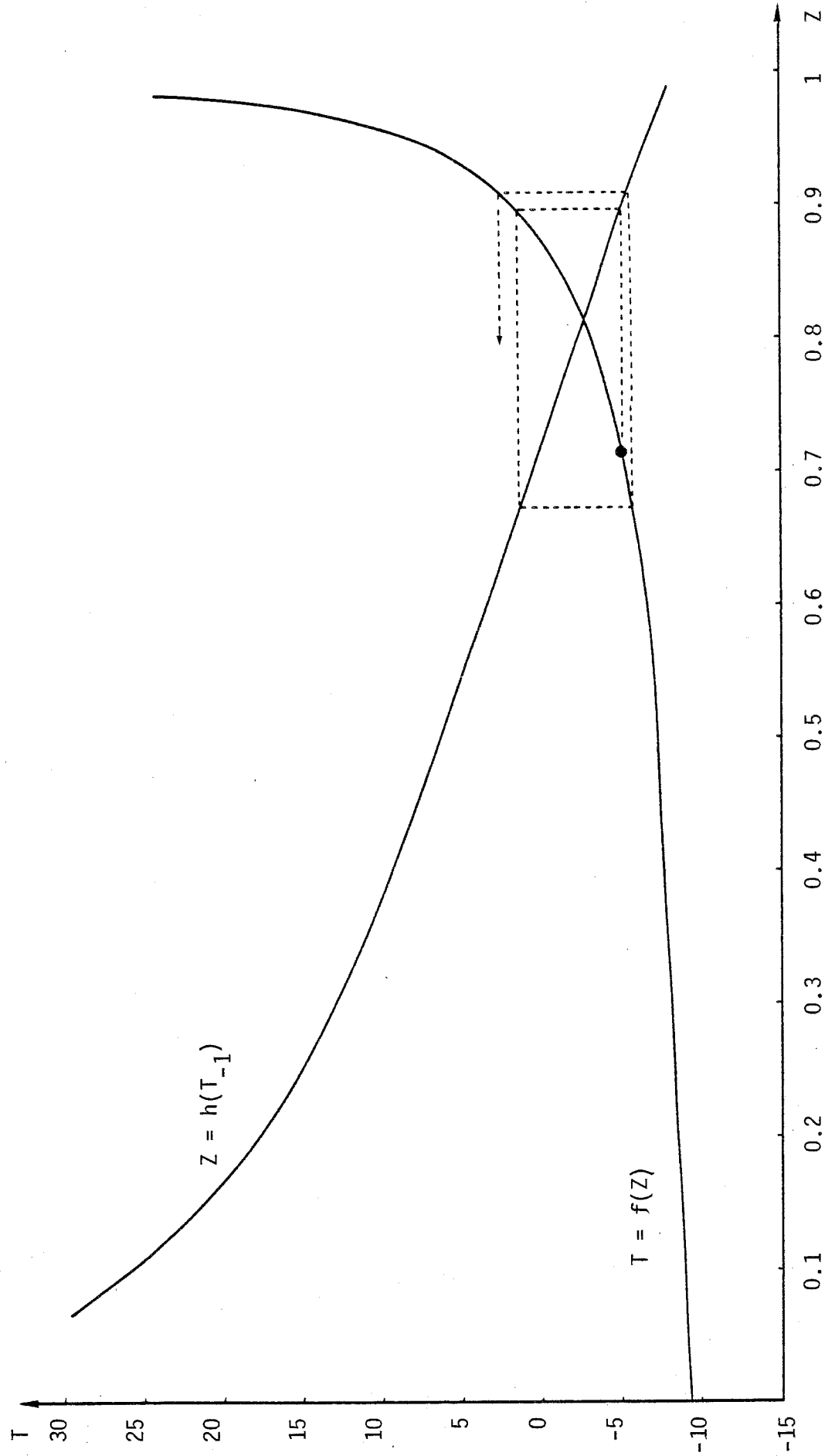
$T = f(Z)$





Voorbeeld 3

Voorbeeld 4



§3. Conclusies

We hebben getracht in deze paper de wisselwerking congestie-modale keuze a.h.v. een dynamisch model te illustreren. Hierbij ging onze aandacht vooral uit naar het patroon van de intermodale evenwichtsvorming. We hebben kunnen zien dat dit evenwicht-zoeken rechtlijnig of oscillerend verloopt, stabiel of explosief. Of en waar er uiteindelijk een nieuw statisch evenwicht bereikt wordt, is afhankelijk van de waarde van de parameters en de exogene variabelen.

Door de complexiteit van de functies en het grote aantal mogelijke situaties was het niet doenbaar alle verschillende gevallen te behandelen.

In concrete situaties - waar parameters en exogene gegevens bekend zijn - is het model bruikbaar om d.m.v. simulatie de effecten van een exogene schok op het intermodaal evenwicht en de evenwichtsvorming na te gaan.

BIBLIOGRAFIE

- G. BLAUWENS, De intermodale evenwichtsvorming, SESO-werknota 7767, januari 1977.
- J. BUSSCHAERT en E. VAN BROEKHOVEN, The Cost of Time and the Demand for Passenger Transportation, SESO-werknota 7312/851, januari 1973.
- F.X. DE DONNEA, The Determinants of Transport Mode Choice in Dutch Cities, Rotterdam, 1971.
- J. DOMENCICH en D. McFADDEN, Urban Travel Demand, A Behavioral Analysis, A Charles River Associates Study, 1975.
- IAURP, Analyse du choix du mode de transport par les usagers en région parisienne, Cahiers de l'IAURP, vol.17-18, n°2, 1969.
- D.A. QUARMBY, Choice of Travel Mode for the Journey to Work, Journal of Transport Economics and Policy, 1969, vol.1, n°3.
- S. REICHMAN en P. STOPHER, Disaggregate Stochastic Models of Travel Mode Choice, Highway Research Record, n°369, 1971, pp.91-103.
- M. RICHARDS en M. BEN-AKIVA, A disaggregate Travel Demand Model, Saxon House Studies, 1975.
- R.J. SMEED, Traffic Studies and Urban Congestion, Journal of Transport Economics and Policy, 1967, vol.1, pp.33-70.
- J.G. WARDROP, Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Part II, 1952, pp.325-378.
- P. WATSON, The Value of Time, Behavioral Models of Model Choice, Lexington Books, 1974.
- M. WOHL en B. MARTIN, Traffic System Analysis for Engineers and Planners, New York, 1967.