

## MEMORANDUM

SCHATTEN VAN DISTRIBUTIEFUNCTIES

BASISMATRICES I en II

R. Hamerslag

EVM/02/82.06

**LABORATORIUM VOOR VERKEERSKUNDE**

Technische Hogeschool Delft

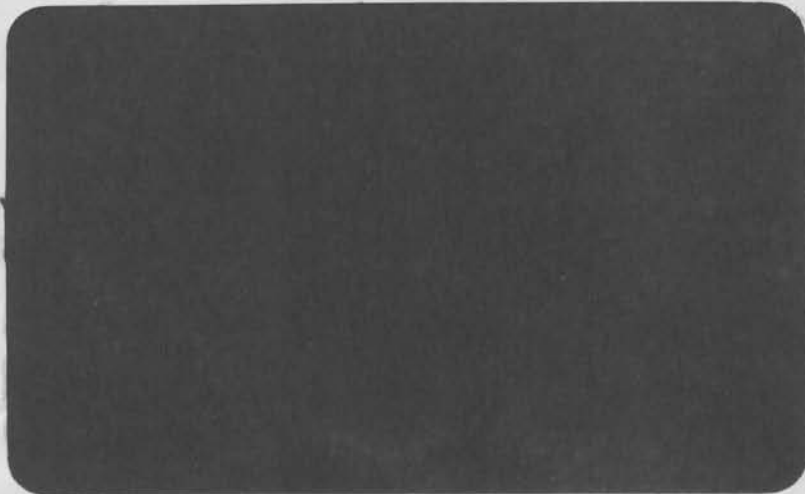
Afdeling der Civiele Techniek

Delft, Nederland

8516



# MEMORANDUM



**LABORATORIUM VOOR VERKEERSKUNDE**

Technische Hogeschool Delft

Afdeling der Civiele Techniek

Delft, Nederland

8516

797680Q

SCHATTEN VAN DISTRIBUTIEFUNCTIES, BASISMATRICES

BASISMATRICES

SCHATTEN VAN DISTRIBUTIEFUNCTIES

BASISMATRICES I en II

R. Hamerslag

EVM/02/82.06



Bijdrage cursus mathematische modellen en computertoepassingen in de verkeerskunde 1982. Stichting Postacademiale cursus verkeerskunde, Delft.

Bibliotheek TU Delft



C 0003149030

T.H. Delft, Laboratorium voor Verkeerskunde
Afdeling der Civiele Techniek
Stevinweg 1, 2628 CN Delft.

Delft, mei 1982

8516
635G

## SCHATTEN VAN DISTRIBUTIE FUNCTIES. BASISMATRICES.

## 1. BASISMATRICES

Basismatrices zijn herkomst- en bestemmingstabellen met verplaatsingen die representatief zijn voor bestaande of bestaand hebbende toestand. De verplaatsingen kunnen door waarnemingen of berekening zijn vastgesteld.

Men gebruikt basismatrices voor planevaluatie op korte termijn. Ze worden ook gebruikt in dynamische voorspellingsmethoden voor lange termijn.

Men kan basismatrices maken met behulp van waarnemingen. Men gebruikt hiervoor huisenquêtes of cordonenquêtes. Een probleem is dat zelfs bij grote streekproeven de gemiddelde vulling van cellen zeer klein is. Een gevolg is dat matrices met waargenomen relaties in het algemeen voor een groot deel uit nullen bestaan, hetgeen de matrices minder geschikt maakt voor het gebruik in dynamische voorspellingsmethoden.

Een ander probleem is dat meestal een deel van de relaties niet wordt waargenomen. Een huisenquête geeft alleen verplaatsingen van de bewoners van het onderzoekgebied en dus niet van degenen die buiten het onderzoekgebied wonen en verplaatsing van het naar het onderzoekgebied maken. Met cordononderzoeken kunnen alleen verplaatsingen worden waargenomen die het cordon passeren.

Het is mogelijk om basismatrices te berekenen. De verplaatsingen worden op dusdanige wijze bepaald dat een optimale aanpassing wordt verkregen bij de waargenomen verplaatsingen. Het verschil is dat de verwachting op een verplaatsing wordt uitgerekend in plaats van waarnemingen. Dit is een reëel getal en leent zich daarom beter voor dynamische berekeningen. Bovendien is het mogelijk om niet waargenomen relaties aan deze matrix toe te voegen.

Het berekenen van basismatrices houdt in dat er een model wordt gespecificeerd. De coëfficiënten schat men door maximalisatie van de likelihood onder de veronderstelling dat de kansdichtheid van de waarnemingen Poisson is verdeeld. De met de geschatte coëfficiënten in het model wordt de verwachting van het aantal verplaatsingen in iedere relatie uitgerekend. In vele gevallen kan men met behulp van de geschatte coëfficiënten de verplaatsingen in niet waargenomen relaties berekenen.

Waarnemingen worden ontleend aan huis- en cordonenquêtes. Indien men meer dan één enquête gebruikt worden sommige relaties meer dan eenmaal waargenomen. Als het mogelijk is om deze waarnemingen met elkaar in overeenstemming te brengen, kan men een multiproportionele schatter gebruiken [3], [5]. Dit is mogelijk als men waarnemingen gebruikt die afkomstig zijn uit huisenquêtes of met cordon enquêtes.

Als het niet mogelijk is om deze afstemming te bewerkstelligen (b.v. omdat men ook intensiteit metingen van particulier of openbaar vervoer wil gebruiken) dan kan men o.a. binaire calibratie toepassen.

## 2. DE MULTIPROPORTIONELE POISSON SCHATTER

### 2.1. De modelspecificatie

Tussen de multiproportionele poisson schatter en gewogen log lineaire modellen bestaat enige overeenstemming. Het belangrijkste verschil is er in gelegen, dat in het onderhavige geval zuivere schattingen worden verkregen ook als er in veel relaties geen verplaatsingen zijn waargenomen. We geven hier de afleiding van de schattingsvergelijkingen met behulp van de theorie van de meest aannemelijke schatte onder de veronderstelling dat de verplaatsingen poisson verdeeld en onafhankelijk zijn.

Het aantal verplaatsingen ( $\hat{P}_{ijv}$ ) is gelijk aan het produkt van distributiefunctie ( $\hat{F}_{Ikv}$ ) en evenwichtsfactoren ( $\hat{q}_i$ ) en ( $\hat{x}_j$ ).

$$\hat{P}_{ijv} = \hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{Ikv} ; \forall i, j \text{ en } v; i \in I \quad (21.1)$$

$k$  is de klasse waartoe de gegeneraliseerde tijd ( $Z_{ijv}$ ) van zone  $i$  naar zone  $j$  met vervoerwijze  $v$  behoort en  $I^2$  is een gebiedsgroep. Verder geldt dat

$$\sum_{jv} \hat{P}_{ijv} = V_i ; \forall i \quad (21.2a)$$

$$\sum_{iv} \hat{P}_{ijv} = A_j ; \forall j \quad (21.1b)$$

met  $V_i$  is het aantal vertrekken en  $A_j$  is het aantal aankomsten.

Verondersteld wordt dat de waarnemingsdistributie Poisson verdeeld is.

De kans op  $P_{ijv}$  waarnemingen  $P$  ( $P_{ijv}$ ) wordt gegeven door de functie

$$P \{P_{ijv}\} = \{\exp(-\hat{P}_{ijv}) \cdot \hat{P}_{ijv}^{P_{ijv}}\} / P_{ijv}! \quad (21.3)$$

Substitutie van (21.1) in (21.3) geeft

$$P \{P_{ijv}\} = \{\exp(-\hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{Ikv}) \cdot (\hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{Ikv})^{P_{ijv}}\} / P_{ijv}! \quad (21.4)$$

Verondersteld wordt dat de  $P_{ijv}$  voor alle combinaties van  $j$  onafhankelijk zijn. De likelihood is:

$$L = \prod_i \prod_j P \{P_{ijv}\} \quad (21.5)$$

$$\ln L = \sum_i \sum_j \{(-\hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{Ikv}) + P_{ijv}\} \cdot (\ln \hat{q}_i + \ln \hat{x}_j + \ln \hat{F}_{Ikv}) - \ln (P_{ijv}!) \quad (21.6)$$

De coëfficiënten  $\hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{Ikv}$  moeten op dusdanige wijze bepaald worden dan  $L$  maximaal is. Nu geldt dat als  $L$  maximaal is  $\ln L$  eveneens maximaal is, dus:



$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{q}_i} = 0 ; \forall i \quad (21.7a)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{x}_j} = 0 ; \forall j \quad (21.7b)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{F}_{Ikv}} = 0 ; I, k \text{ en } v \quad (21.7c)$$

De formule (21.7a) verder uitgewerkt geeft:

$$-\sum_{jv} \hat{x}_j \cdot \hat{F}_{Ikv} + \sum_{jv} P_{ijv} / \hat{q}_i = 0 ; \forall i$$

Na substitutie van (21.2a) in deze formule kan worden afgelezen dat

$$\hat{q}_i = \frac{V_i}{\sum_{jv} \hat{x}_j \cdot \hat{F}_{Ikv}} ; \forall i \quad (21.8a)$$

De formule (21.7b) verder uitgewerkt geeft

$$\sum_{iv} \hat{q}_i \cdot \hat{F}_{Ikv} + \sum_{iv} P_{ijv} / \hat{x}_j = 0 ; \forall j$$

Na substitutie van (21.2b) in deze formule kan worden afgeleid dat

$$\hat{x}_j = \frac{A_j}{\sum_{iv} \hat{q}_i \cdot \hat{F}_{Ikv}} ; \forall j \quad (21.8b)$$

De formule (21.7c) verder uitgewerkt geeft

$$\sum_{\substack{I \in I \\ Z_{ijv} \in k}} \{- \hat{q}_i \cdot \hat{x}_j + P_{ijv} / \hat{F}_{Ikv}\} = 0 ;$$

$Z_{ijv} \in k$  betekent de gegeneraliseerde tijd die behoort tot weerstandsklasse  $k$

Substitutie van  $\sum_{\substack{I \in I \\ (Z_{ijv}) \in k}} P_{ijv} = FRQ_{Ikv}$

$FRQ_{Ikv}$  de waargenomen verplaatsingen in de weerstandsklasse  $k$  en  $\hat{v}$  vervoerwijze  $v$ , geeft na enige herleiding

$$\hat{F}_{Ikv} = \frac{FRQ_{Ikv}}{\sum_{ijv} \hat{q}_i \hat{x}_j} ; \forall I, k \text{ en } v \quad (21.8c)$$

De oplossing van  $\hat{q}_i$ ,  $\hat{x}_j$  en  $\hat{F}_{Ikv}$  uit de vergelijkingen (21.8.a, b en c) hetgeen op iteratieve wijze moet geschieden geeft de meest aannemelijke waarden bij:

- de veronderstellingen over de waarnemingsdistributie
- de veronderstellingen over het verkeerskundig model
- de beschikbare waarnemingen
- de gebruikte verklarende variabelen

Het systeem is alleen toe te passen als de stelselvergelijkingen (21.7a) (21.7b) (21.7c) een oplossing heeft.

$$\text{Als } \sum_i V_i = \sum_j A_j = \sum_{Ikv} FRQ_{Ikv}$$

wordt aan deze voorwaarde voldaan.

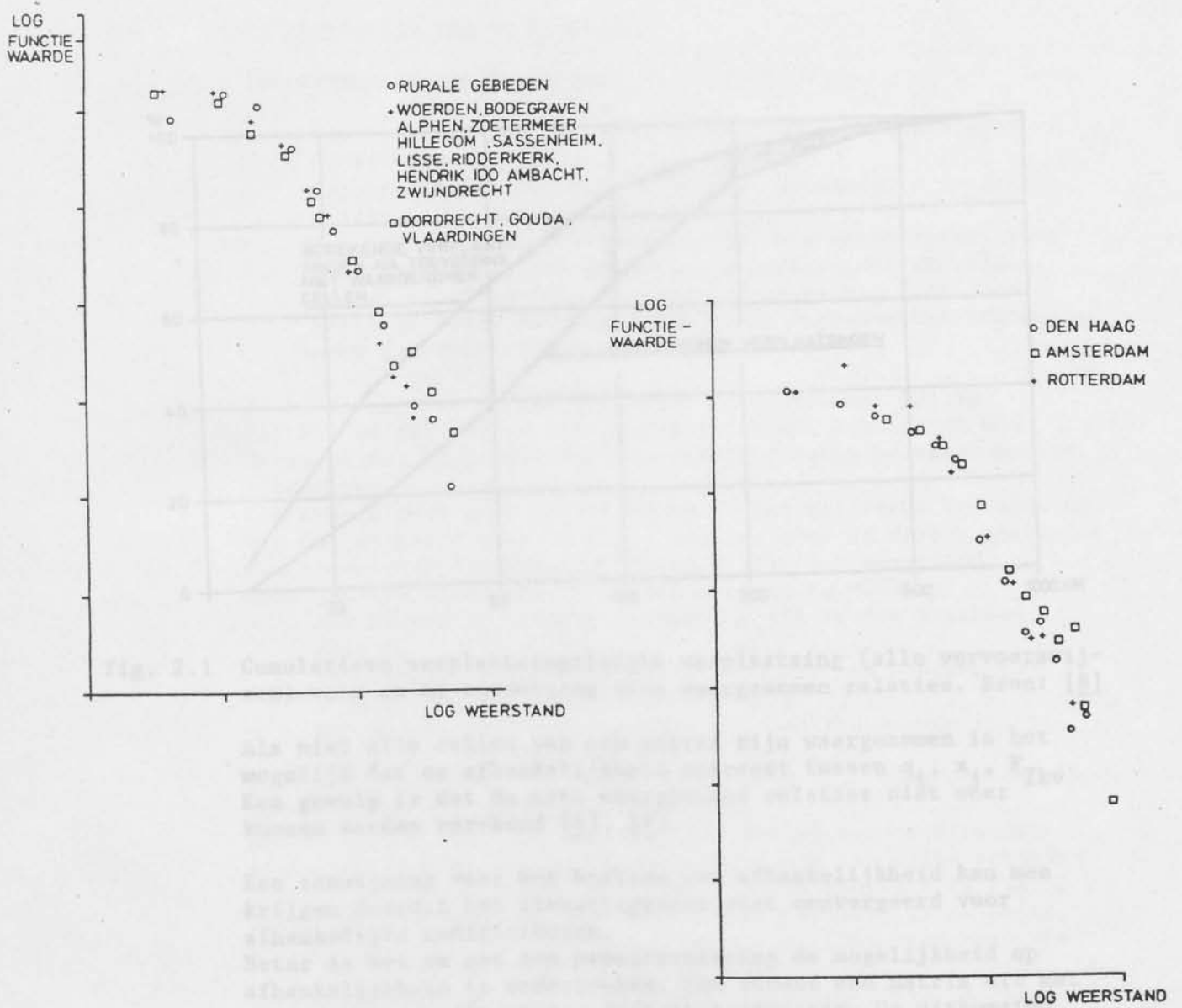


Fig. 2.1. Simultaan geschatte distributiefuncties voor auto in het woonvervoer tijdens de spits met waarnemingen uit het COVW onderzoek.

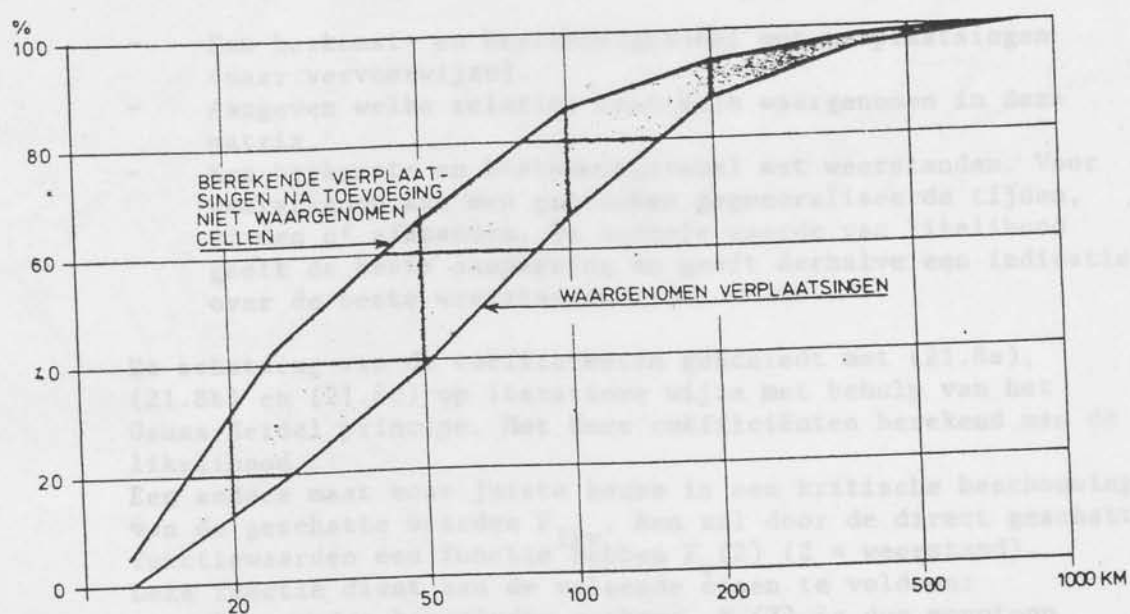


fig. 2.1 Cumulatieve verplaatsingslengte verplaatsing (alle vervoerswijzen) voor en na toevoeging niet waargenomen relaties. Bron: [8]

Als niet alle cellen van een matrix zijn waargenomen is het mogelijk dat er afhankelijkheid optreedt tussen  $q_i$ ,  $x_j$ ,  $F_{Ikv}$ . Een gevolg is dat de niet waargenomen relaties niet meer kunnen worden berekend [4], [7].

Een aanwijzing voor het bestaan van afhankelijkheid kan men krijgen doordat het iteratieproces niet convergeert voor afhankelijke coëfficiënten.

Beter is het om met een proefberekening de mogelijkheid op afhankelijkheid te onderzoeken. Men rekent een matrix uit met een bekend veronderstelde distributiefunctie. De uitkomsten die men verkrijgt, beschouwd men als "waarnemingen". Niet waargenomen relaties laat men in de "waarnemingen" weg en schat vervolgens  $q_i x_j F_{Ikv}$ . Hiermee worden niet waargenomen relaties berekend. Er mag dan uiteraard geen verschil zijn met de "waarnemingen".

Zoals reeds is opgemerkt wordt  $q_i x_j$  en  $F_{Ikv}$  met behulp van Gauss-Seidel principe berekend. Achtereenvolgens berekend men de stelsels vgl. (21.8a) (21.8b) en (21.8e) (21.8a). Het maakt voor de oplossing geen verschil of men met (21.8a), (21.8b) of (21.8a) wordt begonnen. Ook voor de niet waargenomen relaties, die met  $\hat{q}_j$ ,  $\hat{x}_j$  en  $\hat{F}_{Ikv}$  worden berekend, moet ongeacht met welke vgl. de berekening wordt begonnen, dezelfde uitkomst worden verkregen.



## 2.2. De uitvoering van de schatting

Invoer van de schatting is:

- Een herkomst- en bestemmingstabel met verplaatsingen (naar vervoerwijze).
- Aangeven welke relaties niet zijn waargenomen in deze matrix.
- Een herkomst- en bestemmingstabel met weerstanden. Voor weerstanden kan men gebruiken gegeneraliseerde tijden, tijden of afstanden. De hoogste waarde van likelihood geeft de beste aanpassing en geeft derhalve een indicatie over de beste weerstandsmatrix.

De schatting van de coëfficiënten geschiedt met (21.8a), (21.8b) en (21.8c) op iteratieve wijze met behulp van het Gauss-Seidel principe. Met deze coëfficiënten berekend men de likelihood.

Een andere maat voor juiste keuze is een kritische beschouwing van de geschatte waarden  $F_{Ikv}$ . Men zal door de direct geschatte functiewaarden een functie hebben  $F_v(Z)$  ( $Z$  = weerstand).

Deze functie dient aan de volgende eisen te voldoen:

- Hoe verder hoe minder verkeer.  $F_v(Z)$  is dus monotoon dalend.
- Een beperkt aantal verplaatsingen uit een onbegrensd gebied. Dus  $\int_0^{\infty} F(Z) \cdot z \cdot dz = \text{eindig}$ .
- Weerstandverschillen dienen bij een toenemende totale weerstand een kleinere invloed te hebben.

Vervolgens kan men na gaan in welke mate  $F_{Ikv}$  voor verschillende gebiedsgroepen  $I$  verschillen vertonen.

Het beste zou zijn als het voor berekening van de verwachte aantallen verplaatsingen niet zou uitmaken van welke gebiedsgroep functie zou worden gebruikt. Ter illustratie in fig. 2.1 deze functies voor het woonwerkvervoer per auto in de spits, geschat in 1972, met waarnemingen uit het COVW onderzoek uit 1966 [2], [4]. De functies lijken erg op elkaar. Van belang is vooral de hoekverdraaiing tussen de functies. Deze is hier gering.

In fig. 2.2. is de matrix met waargenomen verplaatsingen en de matrix met verwachting voor aantal verplaatsingen per auto aan een netwerk toegedeeld. De matrix met berekende verplaatsing geeft hier en daar zelfs nog een beter stroombeeld dan de waargenomen verplaatsingen, hetgeen blijkt uit de stromen ten noorden van Utrecht.

## 2.3. Niet waargenomen relaties

Vrijwel altijd worden relaties niet waargenomen. In de hierboven weergegeven stromen ontbreken de verplaatsingen gemaakt door bewoners van buiten het studiegebied.

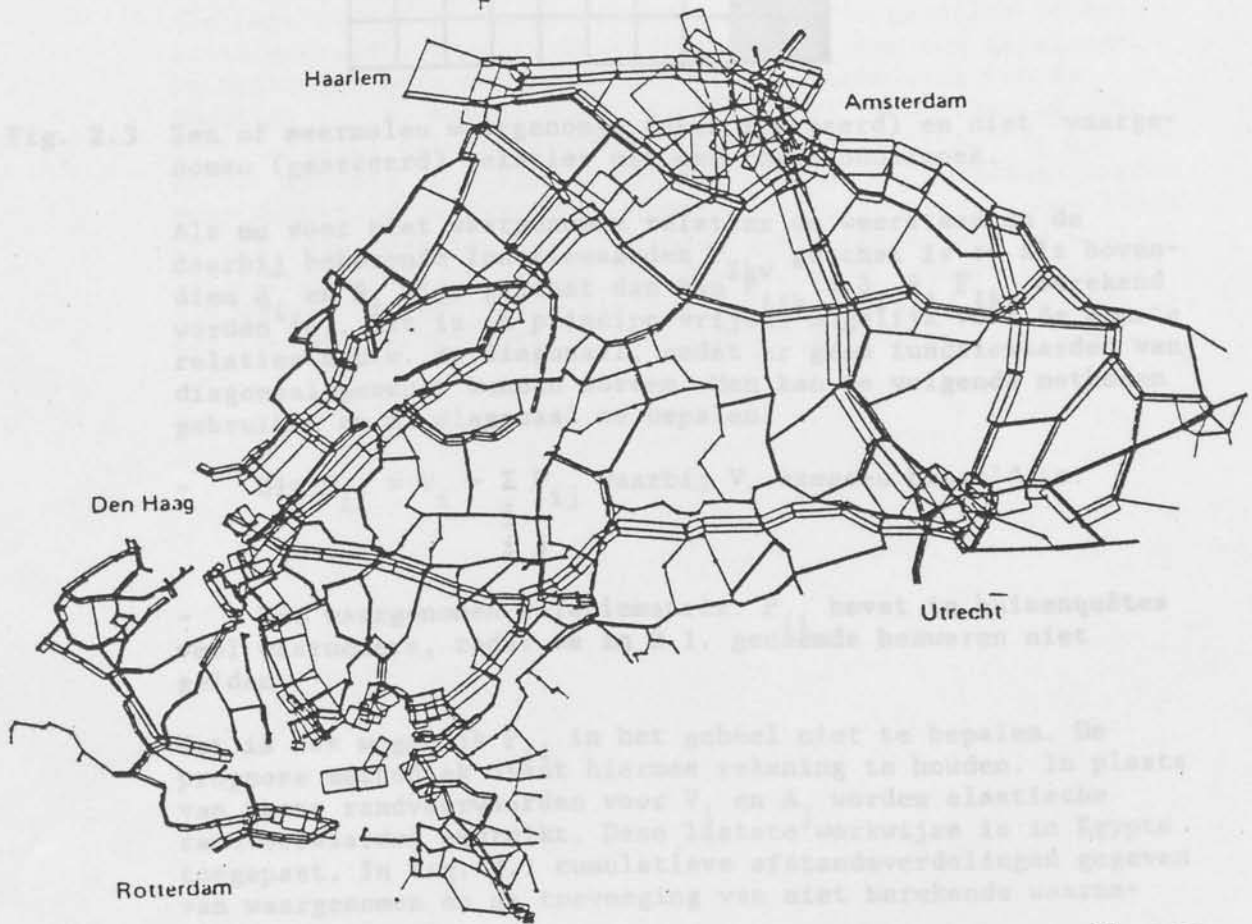
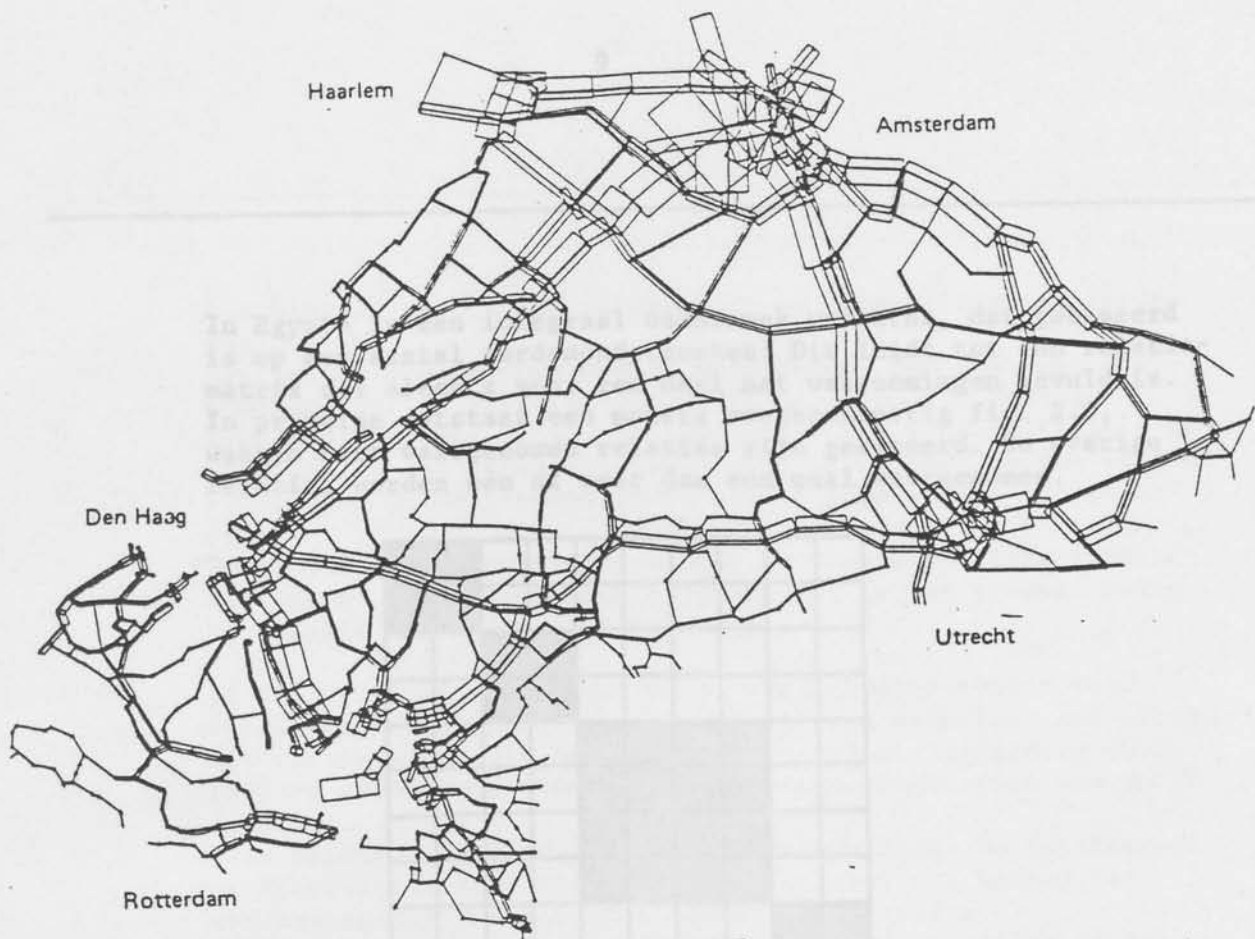


Fig. 2.2 Berekende (boven) en waargenomen (onder) verplaatsingen, die aan een wegennet zijn toegedeeld.  
Bron: Hamerslag et al. (1977).

In Egypte is een integraal onderzoek verricht, dat gebaseerd is op een aantal cordononderzoeken: Dit leidt tot een relatie-matrix die slechts voor een deel met waarnemingen gevuld is. In principe ontstaat een matrix overeenkomstig fig. 2.3, waarin niet waargenomen relaties zijn gearceerd. De overige relaties worden één of meer dan een maal waargenomen.

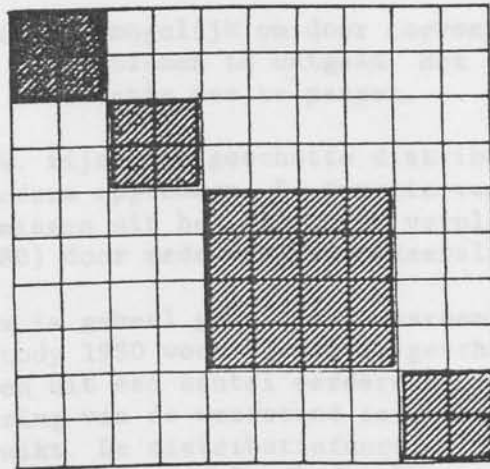


Fig. 2.3 Een of meermalen waargenomen (niet gearceerd) en niet waargenomen (gearceerd) relaties uit een cordononderzoek.

Als nu voor niet waargenomen relaties de weerstand en de daarbij behorende functiewaarden  $F_{lkv}$  geschat is en als bovendien  $\hat{q}_i$  en  $\hat{x}_j$  zijn geschat dan kan  $P_{ijk} = \hat{q}_i \hat{x}_j \hat{F}_{lkv}$  berekend worden [6]. Dit is in principe vrijwel mogelijk voor de meeste relaties m.u.v. de diagonaal, omdat er geen functiewaarden van diagonaal geschat kunnen worden. Men kan de volgende methoden gebruiken om de diagonaal te bepalen.

- Uit  $P_{ii} = V_i - \sum_{j \neq i} P_{ij}$  waarbij  $V_i$  exogeen bepaald is.

- Uit waargenomen relatiematrix.  $P_{ii}$  bevat in huisenquêtes veel waarnemers, zodat de in 2.1. genoemde bezwaren niet gelden.

Het is ook mogelijk  $P_{ii}$  in het geheel niet te bepalen. De prognose methodiek dient hiermee rekening te houden. In plaats van vaste randvoorwaarden voor  $V_i$  en  $A_j$  worden elastische randvoorwaarden gebruikt. Deze laatste werkwijze is in Egypte toegepast. In fig. 2.1 cumulatieve afstandsverdelingen gegeven van waargenomen en na toevoeging van niet berekende waarnemingen opgenomen.

Als hieraan niet wordt voldaan, is er afhankelijkheid aanwezig.

Men zal de studieopzet moeten veranderen. Men zal meer waarnemingen moeten verrichten. Ook is het mogelijk door een beperking van het aantal gebiedsgroepen de afhankelijkheid te verminderen [8]. Eveneens kan, ook door toevoeging van exogene aankomsten en vertrekken goede schattingen worden verkregen [4].

Tenslotte is het mogelijk om door toevoegen van intensiteitstellingen de problemen te ontgaan. Het is dan evenwel nodig om binaire calibratie toe te passen.

In fig. 2.4. zijn twee geschatte distributiefuncties voor autobestuurders opgenomen. De functie van Nederland is geschat met waarnemingen uit het onderzoek verplaatsingsgedrag (OVG 1979 en 1980) door medewerkers verkeerslaboratorium van de TH in Delft.

Deze matrix is geheel gevuld met waarnemingen. De functie uit de Nedecostudy 1980 voor Egypte is geschat met behulp van waarnemingen uit een aantal eerdere onderzoeken.

Als benadering van de weerstand is in beide gevallen de afstand gebruikt. De distributiefuncties lijken erg op elkaar. De hellingen zijn vrijwel gelijk. De verschuiving van de functies t.o.v. elkaar wordt geëlimineerd in berekening door de toepassing van randvoorwaarden. Dit houdt in dat de genoemde functie voor Egypte in Nederland en de gevonden functie voor Nederland en Egypte zo kunnen worden toegepast. Opvallend is ook regelmaat van functies voor grote afstanden. De distributiefuncties zijn minder betrouwbaar voor kortere afstanden, als gevolg van gebruikte weerstanden (Nederland) of het gevonden aantal waarnemingen in weerstandsklassen idem (Egypte).



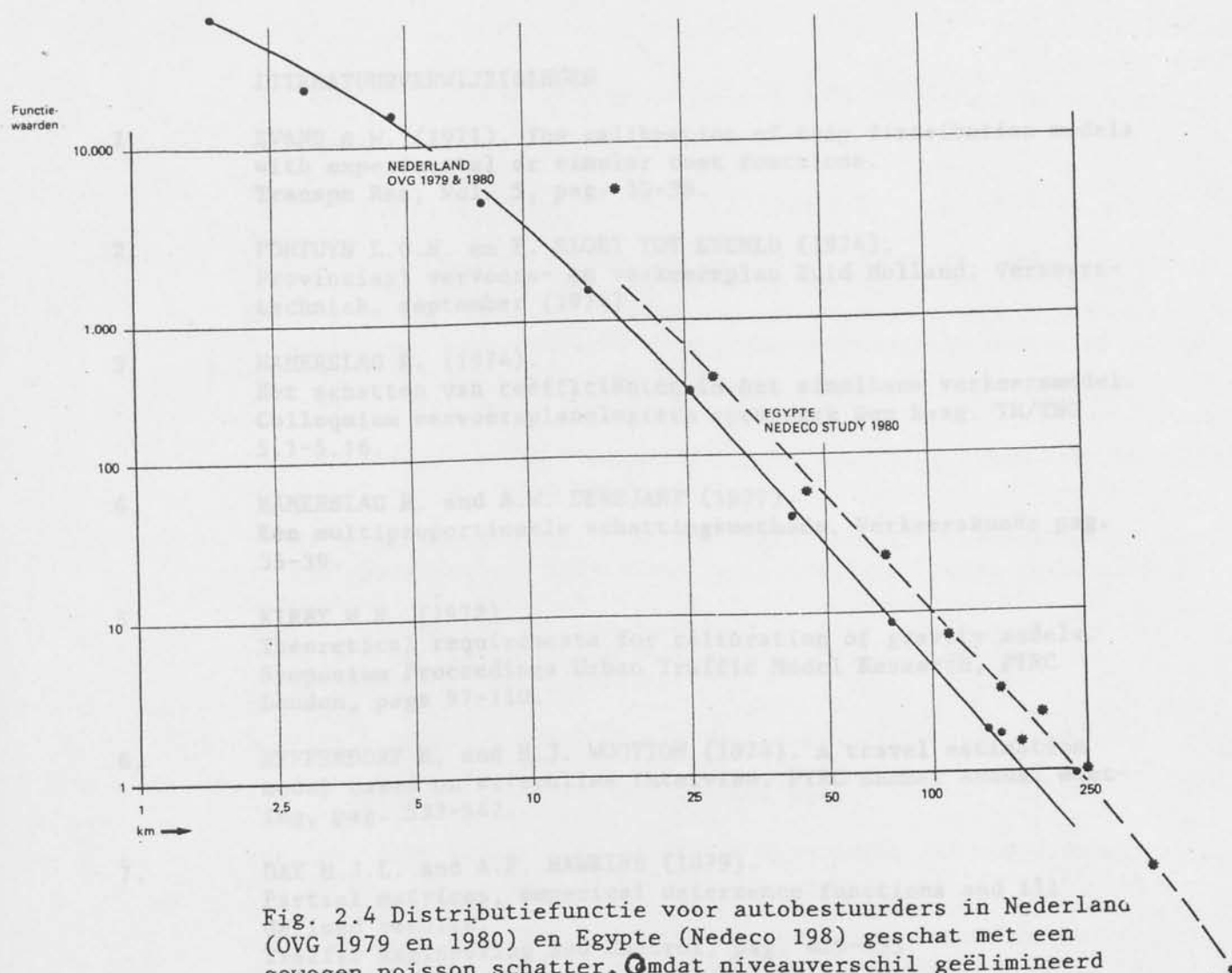


Fig. 2.4 Distributiefunctie voor autobestuurders in Nederland (OVG 1979 en 1980) en Egypte (Nedeco 198) geschat met een gewogen poisson schatter. Omdat niveauverschil geëlimineerd wordt door randvoorwaarden, zijn de functies uitwisselbaar. Opvallend is regelmaat over grote afstanden.



## LITERATUURVERWIJZINGEN

1. EVANS A.W. (1971). The calibration of trip distribution models with experimental or similar cost functions. Transp Res, Vol. 5, pag. 15-38.
2. FORTUYN L.G.H. en F. SLOET TOT EVERLO (1974). Provinciaal vervoers- en verkeersplan Zuid Holland. Verkeers-techniek. september (1974).
3. HAMERSLAG R. (1974). Het schatten van coëfficiënten in het simultane verkeersmodel. Colloquium vervoersplanologisch speurwerk Den Haag. TH/TNO 5.1-5.16.
4. HAMERSLAG R. and A.W. DERSJANT (1977). Een multiproportionele schattingsmethode. Verkeerskunde pag. 35-39.
5. KIRBY H.R. (1972). Theoretical requirements for calibration of gravity models. Symposium Proceedings Urban Traffic Model Research, PTRC London, page 97-110.
6. NEFFENDORF H. and H.J. WOOTTON (1974). A travel estimation model based on screenline interview. PTRC Summer Annual meeting, pag. 532-547.
7. DAY M.J.L. and A.F. HAWKINS (1979). Partial matrices, empirical deterrence functions and ill defined results. Traffic Engineering and Control, pag. 429-433.
8. EGYPT NATIONAL TRANSPORT STUDY. Annex II. Transport demand forecasting Nedeco, Den Haag/ Amersfoort, pag. 4.18.

---

## BASISMATRICES BIJ SCHIJNBAAR STRIJDIGE WAARNEMINGEN

### 1. INLEIDING

In de verkeerskunde worden verschillende schattingsmodellen gebruikt.

Deze modellen hebben gemeen dat de coëfficiënten op dusdanige wijze worden geschat, dat een zo groot mogelijke overeenstemming wordt verkregen tussen berekende en waargenomen modeluitkomsten. Er worden met deze modellen twee resultaten bereikt namelijk:

- de geschatte coëfficiënten
- de met het model berekende hoeveelheden, de modeluitkomsten

Een ander kenmerk van deze modellen is, dat in principe slechts één soort waarnemingen wordt gebruikt.

In de verkeerskunde worden verschillende soorten waarnemingen gedaan zoals het verrichten van intensiteitstellingen verkochte plaatsbewijzen, parkeeronderzoek, straat- en huisenquêtes. De hier te behandelen methode onderscheidt zich van de meer traditionele schattingsmodellen doordat verschillende soorten waarnemingen kunnen worden gebruikt.

Binaire calibratie schat in een verkeerskundig model coëfficiënten op dusdanige wijze dat een optimale aanpassing wordt verkregen aan verschillende soorten waarnemingen.

Doel van deze bijdrage is om enkele ervaringen die opgedaan zijn met binaire calibratie te behandelen. Na behandeling van enkele eigenschappen van het rekenproces (par. 2) bespreken we de modelspecificatie (par. 3). Vervolgens komt we de toepassing van het model in Zuid-Holland t.a.v. gebruikte waarnemingen (par. 4) en bereikte resultaten (par. 5) aan de orde. We zullen hierbij tevens enige aandacht besteden aan het feit dat een betere aanpassing aan intensiteiten ten koste gaat t.a.v. aanpassing aan andere waarnemingen.

### 2. BINAIRE CALIBRATIE

Prognosemodellen bestaan uit stelsels vergelijkingen met coëfficiënten en invloedsgrootheden. De coëfficiënten in de modellen bepaalt men met schattingsmethoden. In het algemeen gebruikt men hierbij één soort waarnemingen, b.v. waarnemingsuitkomsten uit huisenquêtes.

Binaire calibratie wordt gebruikt bij verschillende soorten waarnemingen. Deze waarnemingen kunnen afkomstig zijn van huisenquêtes, straatenuêtes, tellingen, kaartverkoop van het openbare vervoer etc.

---

## BASISMATRICES BIJ SCHIJNBAAR STRIJDIGE WAARNEMINGEN

### 1. INLEIDING

In de verkeerskunde worden verschillende schattingsmodellen gebruikt.

Deze modellen hebben gemeen dat de coëfficiënten op dusdanige wijze worden geschat, dat een zo groot mogelijke overeenstemming wordt verkregen tussen berekende en waargenomen modeluitkomsten. Er worden met deze modellen twee resultaten bereikt namelijk:

- de geschatte coëfficiënten
- de met het model berekende hoeveelheden, de modeluitkomsten

Een ander kenmerk van deze modellen is, dat in principe slechts één soort waarnemingen wordt gebruikt.

In de verkeerskunde worden verschillende soorten waarnemingen gedaan zoals het verrichten van intensiteitstellingen verkochte plaatsbewijzen, parkeeronderzoek, straat- en huisenquêtes. De hier te behandelen methode onderscheidt zich van de meer traditionele schattingsmodellen doordat verschillende soorten waarnemingen kunnen worden gebruikt.

Binaire calibratie schat in een verkeerskundig model coëfficiënten op dusdanige wijze dat een optimale aanpassing wordt verkregen aan verschillende soorten waarnemingen.

Doel van deze bijdrage is om enkele ervaringen die opgedaan zijn met binaire calibratie te behandelen. Na behandeling van enkele eigenschappen van het rekenproces (par. 2) bespreken we de modelspecificatie (par. 3). Vervolgens komt we de toepassing van het model in Zuid-Holland t.a.v. gebruikte waarnemingen (par. 4) en bereikte resultaten (par. 5) aan de orde. We zullen hierbij tevens enige aandacht besteden aan het feit dat een betere aanpassing aan intensiteiten ten koste gaat t.a.v. aanpassing aan andere waarnemingen.

### 2. BINAIRE CALIBRATIE

Prognosemodellen bestaan uit stelsels vergelijkingen met coëfficiënten en invloedsgrootheden. De coëfficiënten in de modellen bepaalt men met schattingsmethoden. In het algemeen gebruikt men hierbij één soort waarnemingen, b.v. waarnemingsuitkomsten uit huisenquêtes.

Binaire calibratie wordt gebruikt bij verschillende soorten waarnemingen. Deze waarnemingen kunnen afkomstig zijn van huisenquêtes, straatenuêtes, tellingen, kaartverkoop van het openbare vervoer etc.

Het verband tussen de waarnemingen wordt gelegd door modellen. B.v. het verband tussen het waargenomen relatie-patroon uit een huisenquête en verkeerstellingen wordt bewerkstelligd met het toedelingsmodel. Het verband tussen bevolking en verplaatsingen per vervoerwijze wordt gelegd door een samenstel van het produktie, distributie en vervoerwijzekeuzemodel.

Bij het vergelijken van waarnemingen zullen strijdigheden lijken te bestaan. Een HB-tabel uit een huisenquête stemt niet overeen met intensiteitstellingen. Belangrijkste oorzaken hiervoor zijn in de eerste plaats de stochastische eigenschappen van de verkeerswaarnemingen. Er ontstaan verschillen door de gebruikte waarnemingstechnieken. Enquêtes zijn niet altijd representatief. Verkeerstellers zijn wel eens gestoord.

Een tweede oorzaak is gelegen in het verschil in waargenomen populatie.

De populatie van de huisenquête is de bevolking van het studiegebied.

Bij de tellingen bestaat de populatie uit de bevolking die het telpunt is gepasseerd. Het bevat verplaatsingen gemaakt door personen, die buiten het studiegebied wonen. De huisenquête bevat verplaatsingen van personen die geen telpunten passeren. Om een vergelijking te kunnen maken moeten de verplaatsingen alsnog worden toegevoegd om verschillen in populatie te elimineren.

Een derde verschil ontstaat door de modelspecificatie. Het verband tussen verschillende soorten waarnemingen wordt gelegd door een model.

B.v., intensiteiten kunnen met een toedelingsmodel uit een HB-tabel uit een huisenquête worden bepaald. Omdat deze in het algemeen overwegend met nullen gevuld is, geeft men ook vaak er de voorkeur aan een tabel met behulp van een gecalibreerd distributie- en vervoerwijzekeuzemodel te gebruiken.

Het distributie- en vervoerwijzekeuzemodel beschrijven de werkelijkheid maar voor een deel. Een ander voorbeeld hiervan is een routekeuzemodel dat het verkeer toedeelt volgens de kortste route terwijl men in werkelijkheid meer routes gebruikt. Ook als gevolg van deze oorzaak ontstaan afwijkingen.

Het is onjuist om onvoldoende aanpassing uitsluitend aan een onvoldoende modelspecificatie toe te schrijven. Als gevolg van andere genoemde oorzaken kunnen eveneens afwijkingen ontstaan.

Afhankelijk van de beschikbare waarnemingen kunnen verschillende methodieken worden toegepast. Het meest voor de hand ligt het om waarnemingen van te voren met elkaar in overeenstemming te brengen [5]. De schattingen kunnen dan vervolgens geschieden met multiproportionele Poissonmodellen, entropie modellen etc. Deze methoden zijn goedkoop en zijn daarom vrij algemeen toegepast [1].



De resultaten worden achteraf vergeleken met beschikbare tellingen. We zullen hier niet ingaan op mogelijke problemen die de schatting kan opleveren. De methode kan b.v. ook gebruikt worden bij cordononderzoek zoals gebleken is bij de integrale verkeers- en vervoerstudie in Egypte.

Het is ook mogelijk intensiteitstellingen als waarnemingen te gebruiken in schattingsmodellen van dit type [3]. Het proces is alleen toe te passen als de nevenvoorwaarden in het optimalisatieproces ten minste één oplossing heeft. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan kan geen oplossing worden gevonden. Dit doet zich voor als er ten minste één strijdigheid aanwezig is tussen twee waarnemingen b.v. twee niet gelijke intensiteitswaarnemingen op hetzelfde wegvak.

Men kan nu trachten deze strijdigheid op te heffen door b.v. één intensiteit die gelijk is aan de gemiddelde waarde te gebruiken. Het opheffen van strijdigheden zal minder goed lukken als verschillende soorten waarnemingen worden gebruikt zoals huis-enquêtes en intensiteitstellingen voor een of meer vervoerwijzen.

De entropiebenadering houdt in, dat iedere waarneming een extra coëfficiënt geeft, de Lagrange-multiplicator. De extra coëfficiënten zijn afhankelijk van de gebruikte randvoorwaarden. Ze zijn o.m. afhankelijk van op een bepaald tijdstip verrichte intensiteitstellingen. Als de intensiteitstellingen verandering ondergaan in het algemeen, ondergaan de multiplicatoren ook een verandering. Het model kan daarom niet meer worden gebruikt voor het doen van voorspellingen van veranderingen van vervoerstromen. Een volledige aanpassing van de bestaande situatie gaat ten koste van de mogelijkheid het model te gebruiken bij voorspellingen van veranderingen [7], [8].

Binaire calibratie staat wel strijdigheid tussen waarnemingen toe en noodzaakt niet tot het opnemen van extra coëfficiënten in het model om een betere aanpassing te bewerkstelligen. Verondersteld wordt dat de waargenomen verplaatsingen Poissonverdeeld zijn. Deze veronderstelling komt in de plaats van de (soms impliciet) gemaakte veronderstelling van normaal verdeelde waarnemingen [4]. Mogelijk negatieve verplaatsingen worden uitgesloten. Voor wiskundige vergelijking wordt verwezen naar eerdere publikaties [2].

### 3. MODELSPECIFICATIE

#### 3.1. Het prognosemodel

Het binaire calibratie proces is in 1974 ontwikkeld en gebruikt in een studie in Zaanstad. Het rekenproces bevat een aantal schattingsvergelijkingen die een groot beslag leggen op het geheugen van de computer. De grootte van de matrices moest daarom in Zaanstad beperkt blijven tot  $80 \times 80$  met totaal 6400 cellen.

In de huidige regionale studies worden matrices van  $500 \times 500$  voor drie vervoerwijzen, twee autobeschikbaarheidsklassen en twee motieven met totaal dus 3 miljoen cellen. Dit stelde grote eisen aan programmering.



Tevens zijn schattingen voor groepen van coëfficiënten toegepast in plaats van voor iedere coëfficiënt afzonderlijk. We geven hier de wiskundige formulering.

Het verkeerskundig prognosemodel dat is toegepast heeft de vorm:

$$P_{ijvcm} = q_{im} \cdot x_{jcm} \cdot F_{kvcmg} \quad (1)$$

met  $P_{ijvcm}$  = het aantal verplaatsingen van  $i$  naar  $j$  met vervoerwijze  $v$ , autobeschikbaarheid  $c$  en motief  $m$  berekend met het prognosemodel

$q_{im}$  = het produkt van de evenwichtsfactor en polariteit voor zone  $i$  en motief  $m$

$x_{jcm}$  = het produkt van de evenwichtsfactor en polariteit voor zone  $j$ , autobeschikbaarheidsklasse  $c$  en motief  $m$

$F_{kvcmg}$  = waarde van de distributiefunctie voor weerstandsklasse  $k$ , vervoerwijze  $v$ , autobeschikbaarheidscategorie  $c$ , motief  $m$  en gebiedsgroep  $g$ .

$$\text{met } \sum_j \sum_v \sum_c P_{ijvcm} = V_{im} \quad (2)$$

$$\text{en } \sum_i \sum_v P_{ijvcm} = A_{jcm} \quad (3)$$

met  $V_{im}$  de gegeven vertrekken in zone  $i$  met motief  $m$ .

$A_{jcm}$  de gegeven aankomsten in zone  $j$  met autobeschikbaarheidsklasse  $c$  en motief  $m$ .

De prognoseberekening geschiedt op traditionele wijze. Weerstandsmatrices worden per vervoerwijze berekend, waarmee  $F_{kvcmg}$  wordt bepaald. Met het produktie model worden  $V_{im}$  en  $A_{jcm}$  berekend:  $q_{im}$  en  $x_{jcm}$  worden nu op iteratieve wijze bepaald door te voldoen aan de randvoorwaarden (2) en (3). Hieruit kan  $P_{ijvcm}$  berekend worden. Dit zijn dus alle verplaatsingen in het studiegebied en het invloedsgebied.

Met binaire calibratie worden nu groepen van coëfficiënten veranderd met  $(\alpha_I, \beta_{Jc}, \gamma_{Kv}$  en  $\delta_i)$  overeenkomstig onderstaande vergelijkingen. De met  $I$ -aangegeven symbolen gelden na binaire calibratie.

$$\begin{aligned} &\text{def} \\ \hat{q}_{im} &= \alpha_I q_{im} \quad ; i \in I \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &\text{def} \\ \hat{x}_{jcm} &= \beta_{Jc} x_{jcm} \quad ; j \in J \end{aligned} \quad (5)$$

$$\hat{F}_{kvcgm} \stackrel{\text{def}}{=} \gamma_{Kv} F_{kvcgm} ; \text{ voor alle relaties met bestemming in de provincie Zuid-Holland zijn 5 klassen } K \text{ onderscheiden en voor relaties met een bestemming buiten Zuid-Holland 1 klasse } K. \quad (6)$$

$$\hat{F}_{kvcgm} \stackrel{\text{def}}{=} \delta_i F_{kvcgm} ; \text{ alleen voor intrazonale relaties } (i = j). \quad (7)$$

Uit (1), (4), (5) en (6) volgt dat:

$$\hat{P}_{ijvcm} = \alpha_I \beta_{Jc} \gamma_{Kv} P_{ijvcm} \quad \text{voor alle relaties met bestemming binnen de provincie.} \quad (8)$$

$\hat{P}_{ijvcm}$  is dus het aantal verplaatsingen na de binaire calibratie, dat ontstaat door de oorspronkelijke waarden te vermenigvuldigen met  $\alpha_I$ ,  $\beta_{Jc}$  en  $\gamma_{Kv}$ .

### 3.2. De schattingsvergelijkingen

Bovenstaande modellen hebben gemeen, dat het aantal verplaatsingen over een schakel kan worden bepaald uit het produkt van een aantal factoren. Dit kan als volgt worden gerealiseerd:

$$X_{\ell}^* = \prod_k r_k^{d_{k\ell}} ; \quad \forall \ell \quad (9)$$

waarin:

$X_{\ell}^*$  : het aantal verplaatsingen tussen een bepaalde herkomst een bestemming met een bepaalde vervoerwijze dat met een bepaald motief is gemaakt door personen die wel of geen beschikking hebben over een personenauto, etc.  
 $\ell$  is het rangnummer van de relatie

$r_k$  : is een generalisatie van de variabelen in het verkeerskundig model  
 $r_k$  stelt derhalve:  
 de evenwichtsfactor voor de polariteiten  
 de waarde van de distributie en vervoerwijzekeuze, of de waarde van de simultane distributiefunctie,  
 de waarde van de routekeuzefunctie  
 $k$  is het rangnummer

$d_{k\ell} = \ell$  als  $r_k$  voorkomt in vergelijking  $\ell$  en  $d_{k\ell} = 0$  als  $r_k$  niet voorkomt in  $\ell$   
 ( $k$  binair wordt aangegeven of  $r_k$  al of niet voorkomt)

Als nu verder wordt gedefinieerd dat:

$X_{\ell}$  : is het aantal verplaatsingen dat berekend wordt, opdat een optimale aanpassing wordt verkregen aan alle soorten waarnemingen, en

$\rho_K$  correctiefactoren zijn; dit zijn veranderingen, die worden aangebracht in de bepaalde coëfficiënt  $r_k$  om een optimale oplossing te bereiken ( $K < k$ ); niet voor elke  $r_k$  hoeft een  $\rho_K$  voor te komen; het is dus mogelijk om uitsluitend correctiefactoren te gebruiken, die betrekking hebben op veranderingen in de evenwichtsfactoren, etc.

$$X_{\ell} = X_{\ell}^* \prod_K \rho_K^{d_{k\ell}}; \forall \ell \quad (10)$$

Uiteraard geldt dat het aantal verplaatsingen niet negatief is, dus:

$$X_{\ell}^* \geq 0 \text{ en } X_{\ell} \geq 0; \ell$$

De formulering (9) en (10) is gekozen uit rekentechnische overwegingen en houdt de mogelijkheid in om steeds een aantal coëfficiënten te veranderen. Zo kan men bijvoorbeeld de evenwichtsfactoren wel en de functiewaarden van de distributiefunctie niet veranderen.

De routekeuze kan bijvoorbeeld onveranderd blijven, terwijl evenwichtsfactoren en functiewaarden van de distributiefunctie wel veranderen.

De aanvankelijk berekende verplaatsingen leveren herkomstbestemmings-tabellen per motief per vervoerwijze voor autobeschikbaar en niet autobeschikbaar.

Het berekende aantal verplaatsingen  $\hat{y}_n$  wordt door sommatie van relaties uit deze HB-tabellen verkregen. Bijvoorbeeld levert optellen van een regel van de HB-tabellen over de vervoerwijzen de vertrekken per motief op.

De optelling van de relaties over de motieven die gebruik maken van een bepaald wegvak of schakel van het netwerk voor deze vervoerwijze geeft de berekende vervoerstream op die schakel. Bovenstaande optelling wordt gegeven door de vergelijking:

$$\hat{y}_n = \sum_{\ell} \hat{X}_{\ell} \cdot \delta_{\ell n} \quad (11)$$

waarin:

$\hat{y}_n$  : de berekende hoeveelheid in de klasse n

Deze hoeveelheid kan zijn:

- het aantal aankomsten en vertrekken per vervoerwijze
- de frequentieverdeling van de verplaatsingen per weerstandsklasse per vervoerwijze (eventueel per gebiedsgroep)
- de verkeerstromen op wegvakken of over cordons
- etc.

$\hat{X}_\ell$  wordt berekend met (10)

$\delta_{\ell n} = 1$  als  $X_\ell$  voorkomt in  $\eta$ ;  $\delta_{\ell n} = 0$  als  $X_\ell$  niet voorkomt

Met de likelihoodschattingstheorie wordt nu  $\rho_K$  optimaal bepaald.

Dit houdt tevens in dat  $\hat{y}_n$  optimaal past bij  $y_n$ .

Hier wordt verondersteld dat  $y_n$  een poisson verdeling heeft, zodat de hier gemaakte veronderstelling consistent is.

Deze vorm van de waarnemingsdistributie heeft het voordeel boven de normale en lognormale verdeling dat de kans op negatieve waarnemingen nul is en bovendien voor nul een reële waarde heeft. Omdat de waarde van de waarneming sterk van nul verschilt zou een benadering met een normale verdeling mogelijk zijn. Deze benadering zou het voordeel hebben van een eenvoudiger rekenproces. Een bezwaar van deze benadering is evenwel, dat negatieve verplaatsingen kunnen voorkomen hetgeen uiteraard bijzonder onlogisch is en de resultaten van de berekeningen arbitrair maakt. De benadering van de waarnemingsdistributie met een Poisson verdeling heeft dit bezwaar niet en is mede daarom verkozen.

De logaritmische van de likelihood geeft de vergelijking:

$$L = - \sum_n \hat{y}_n + \sum_n y_n \ln \hat{y}_n - \sum_n \ln y_n ! \quad (12)$$

met  $y_n$  is de uitkomst van de waarneming  $n$ ;  $n > k$

L is maximaal als:

$$\frac{\partial L}{\partial p_K} = 0; \quad \forall K \quad (13)$$

of:

$$\sum_n \frac{\partial \hat{y}_n}{\partial p_K} \left( \frac{y_n}{\hat{y}_n} - 1 \right) = 0; \quad \forall K \quad (14)$$

De waarden van  $\rho_K$  worden bepaald door (10) en (14) te substitueren en dat het stelsel vergelijkingen op te lossen.



#### 4. UITVOERING VAN HET REKENPROCES

##### 4.1. Prognose

Het rekenproces is uitgevoerd in verschillende studies. We beperken ons hier tot toepassing van het rekenproces zoals dit toegepast is voor de provincie Zuid-Holland [6].  $P_{ijvcm}$  is met (1), (2) en (3) bepaald. De matrices zijn per vervoerwijze  $^{ij}$  bij elkaar opgeteld dus

$$P_{ijv} = \sum_c \sum_m P_{ijvcm} \quad (15)$$

en toegeedeeld aan respectievelijk het wegennet (fig. 1) en het openbaar vervoernet (fig. 3).

De overeenstemming tussen waargenomen en berekende intensiteiten voor het autoverkeer was redelijk (fig. 1).

De toedeling aan het openbaar vervoernet gaf een grote overschatting van het openbaar vervoer (fig. 3). Dit was te wijten aan de enigszins arbitraire wijze waarop de distributiefunctie voor het openbare vervoer moest worden bepaald voorafgaande aan binaire calibratie. Besloten is om de functie van de schatting met behulp van binaire calibratie opnieuw te verrichten.

##### 4.2. Waarnemingen

Bij binaire calibratie worden aanpassingen gedaan aan verschillende soorten waarnemingen. Ten dele moeten de waarnemingen door berekeningen worden vastgesteld. De volgende soorten waarnemingen zijn gebruikt.

- Aankomsten ( $A_{Jc}$ ) en vertrekken ( $V_I$ ) zijn door berekening vastgesteld als volgt:

$$A_{Jc} = \sum_{j \in J} \sum_i \sum_v \sum_m P_{ijvcm} \quad (10)$$

$$V_I = \sum_{i \in I} \sum_j \sum_v \sum_m \sum_c P_{ijvcm} \quad (11)$$

De zonegroepen I en J zijn gelijk, zie bijlage 1; de aankomsten en vertrekken zijn in bijlage 2 vermeld.

In tabel 1 zijn modeluitkomsten vergeleken met het onderzoek verplaatsingsgedrag CBS, 1978. De verschillen in de totalen wijken niet significant af.

Tabel 1 Aantal aankomsten tijdens de spits

Modeluitkomst	3.204.657
Waarnemingsuitkomst OVG	3.145.260 ± 60.000





Fig. 1 Verplaatsingen per auto toegedeeld aan een wegennet.  
Waarnemingsuitkomsten met arcering aangegeven.

Deze verandering leidt tot een verscherping van spreiding in alle  
 kanten en richtingen. Bij het bepalen van de toedeling van de  
 resultaten op te gebruiken.

Verplaatsingen per wegsegment (tabel 2).  
 De frequentieverdeling van de waarden van  
 de auto en de vrachtwagenvervoeren per  
 wegklasse uit tabel 1.

Tabel 2. Verplaatsingen per wegsegment

Klasse	Auto	Vrachtwagen
1	100	100
2	100	100
3	100	100
4	100	100
5	100	100
6	100	100
7	100	100
8	100	100
9	100	100
10	100	100
11	100	100
12	100	100
13	100	100
14	100	100
15	100	100
16	100	100
17	100	100
18	100	100
19	100	100
20	100	100
21	100	100
22	100	100
23	100	100
24	100	100
25	100	100
26	100	100
27	100	100
28	100	100
29	100	100
30	100	100
31	100	100
32	100	100
33	100	100
34	100	100
35	100	100
36	100	100
37	100	100
38	100	100
39	100	100
40	100	100
41	100	100
42	100	100
43	100	100
44	100	100
45	100	100
46	100	100
47	100	100
48	100	100
49	100	100
50	100	100
51	100	100
52	100	100
53	100	100
54	100	100
55	100	100
56	100	100
57	100	100
58	100	100
59	100	100
60	100	100
61	100	100
62	100	100
63	100	100
64	100	100
65	100	100
66	100	100
67	100	100
68	100	100
69	100	100
70	100	100
71	100	100
72	100	100
73	100	100
74	100	100
75	100	100
76	100	100
77	100	100
78	100	100
79	100	100
80	100	100
81	100	100
82	100	100
83	100	100
84	100	100
85	100	100
86	100	100
87	100	100
88	100	100
89	100	100
90	100	100
91	100	100
92	100	100
93	100	100
94	100	100
95	100	100
96	100	100
97	100	100
98	100	100
99	100	100
100	100	100

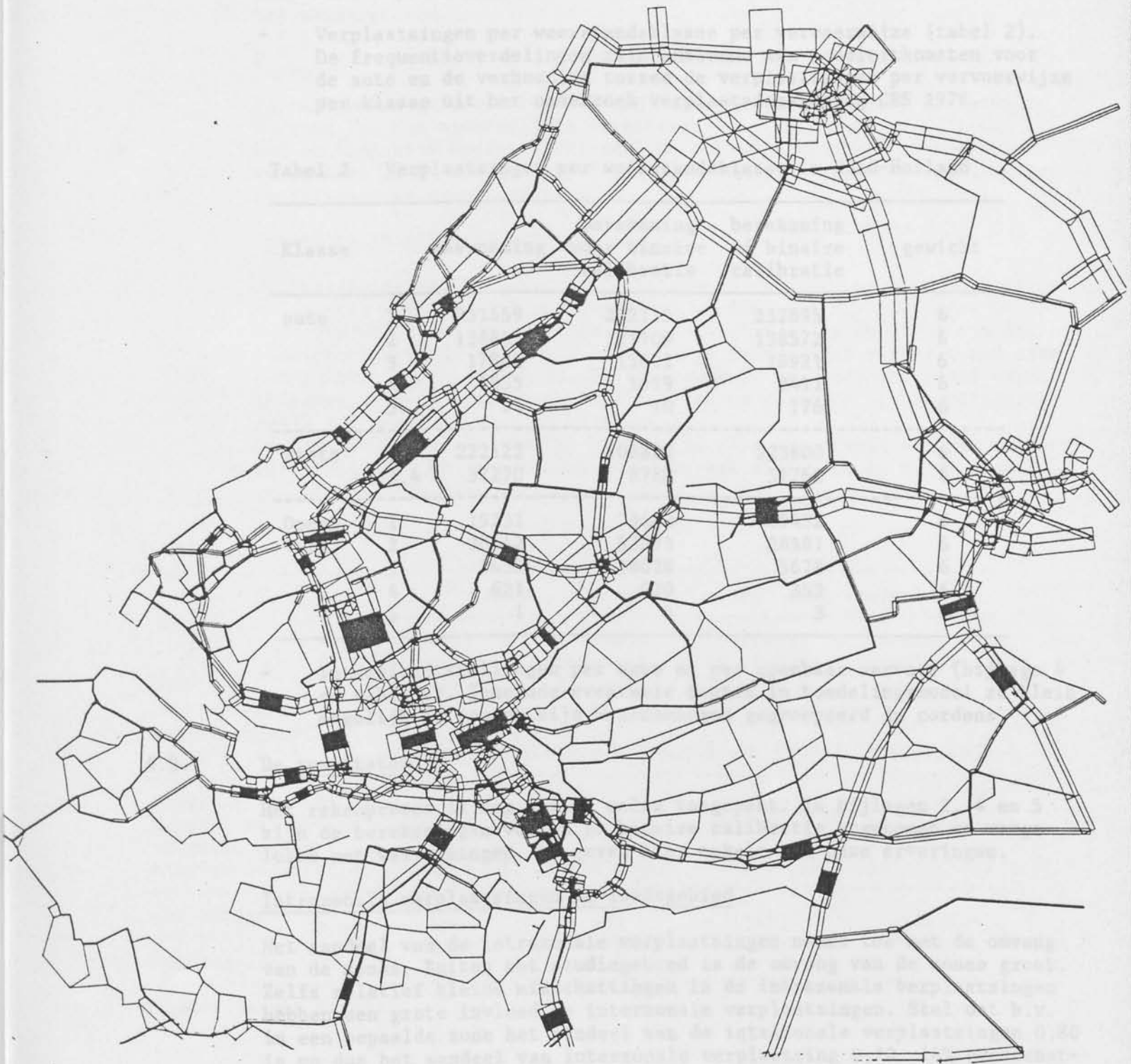


Fig. 2 Toedeling aan wegennet na binaire calibratie.  
 Waarnemingen gearceerd.

Deze benadering leidt tot een verwaarlozing van spreiding in aankomsten en vertrekken. Wij zullen hierop bij de bespreking van de resultaten op terugkomen.

- Verplaatsingen per weerstandsklasse per vervoerwijze (tabel 2). De frequentieverdelingen zijn ontleend aan modeluitkomsten voor de auto en de verhouding tussen de verplaatsingen per vervoerwijze per klasse uit het onderzoek verplaatsingsgedrag CBS 1978.

Tabel 2 Verplaatsingen per weerstandsklasse in Zuid-Holland

Klasse		waarneming	berekening vóór binaire calibratie	berekening ná binaire calibratie	gewicht
auto	1	231659	202115	232895	6
	2	138812	121109	138572	6
	3	17882	15601	18921	6
	4	1855	1619	2411	6
	5	11	10	176	6
Fiets	1	222122	206822	223800	6
	2,3,4	37270	8780	37762	6
Openb. verv.	1	19231	78682	19432	6
	2	30642	53873	28587	6
	3	7452	18028	5678	6
	4	621	920	353	6
	5	1	5	3	6

- Intensiteitstellingen per auto en per openbaar vervoer (bijlage 4 en tabel 2). Teneinde eventuele fouten in toedelingsmodel zo klein mogelijk te houden zijn waarnemingen gegroepeerd in cordons.

#### 4.3. De resultaten

Het rekenproces is een aantal malen toegepast. In bijlagen 2, 4 en 5 zijn de berekeningen vooren na binaire calibratie opgenomen en vergeleken met waarnemingen. We geven hier enkele van onze ervaringen.

##### Intrazonale verplaatsingen invloedsgebied

Het aandeel van de intrazonale verplaatsingen neemt toe met de omvang van de zones. Buiten het studiegebied is de omvang van de zones groot. Zelfs relatief kleine misschattingen in de intrazonale verplaatsingen hebben een grote invloed op interzonale verplaatsingen. Stel dat b.v. in een bepaalde zone het aandeel van de intrazonale verplaatsingen 0,80 is en dus het aandeel van interzonale verplaatsing 0,20. 10% overschatting van intrazonale verplaatsingen leidt in dit voorbeeld tot bijna een halvering van de interzonale verplaatsingen.

Omdat het computermodel geen correctie op intrazonale verplaatsingen toestond overeenkomstig (7) is een kunstgreep toegepast. Het aantal intrazonale verplaatsingen is nul gesteld voor zones gelegen buiten het studiegebied.

$P_{ijvmc} = 0$  als  $i = j$  en  $i$  is gelegen buiten het studiegebied.

De aankomsten en vertrekken worden hiervoor gecorrigeerd. Als gevolg hiervan kan een aanzienlijke verbetering van buiten en op de grens van het studiegebied worden verkregen. De veranderingen van aankomsten en vertrekken in de zonegroepen 1 t/m 11 hebben dus alleen betrekking op de interzonale verplaatsingen.

#### Intensiteitstellingen auto

De aanpassing van intensiteitstellingen en de prognose voor de binaire calibratie was redelijk goed. Evenwel worden toch verbeteringen bereikt voor vrijwel alle cordons (zie bijlage 4). In en op de grens van het studiegebied wordt gemiddeld 13% te lage intensiteit gecorrigeerd naar het juiste niveau (tabel 2). De chi-kwadrat per vrijheidsgraad wordt gehalveerd op de cordons op Zuid-Holland en wordt op de provinciegrens zelfs 1/7 deel van voor de berekening.

De HB-tabellen na de binaire calibratie zijn toegedeeld aan een autonetwerk (fig. 3). De weerstanden in netwerken zijn voor en na de binaire calibratie zijn niet veranderd.

Tabel 3

	auto		openbaar vervoer	
	cordons in studie- gebied *	cordon provincie grens *	cordons in studie- gebied *	cordon provincie grens *
waarnemingsuit- komst	165700 (100)	60920 (100)	54096 (100)	18560 (100)
prognose <u>voor</u> de binaire calibratie	143936 ( 87)	52546 ( 86)	150243 (278)	64093 (345)
prognose <u>na</u> de binaire calibratie	167515 (101)	61419 (101)	54872 (101)	17638 ( 95)
chi-kwadrat per vrij- heidsgraad	<u>voor</u> 528 <u>na</u> 230	497 78	3623 635	5447 242

\* Index tussen haakjes





Fig. 3 Verplaatsingen met het openbare vervoer toegedeeld aan een netwerk. Waarnemingsuitkomsten met arcering aangegeven.

### Informatiebron openbaar vervoer

Het binair calibratie-proces heeft de benodigde openbaar vervoer-  
stromen over de gehele lijn verbeterd en is nu beter aan bij  
de waargenomen informatiebron (tabel 3, bijlage 5). De benodigde HB-  
tabel is per openbaar vervoer zijn toegankelijk aan een openbaar vervoer  
netwerk (Fig. 4).

### Erkendingsproblemen

Binair calibratie-proces heeft de benodigde openbaar vervoer-  
stromen over de gehele lijn verbeterd en is nu beter aan bij  
de waargenomen informatiebron (tabel 3, bijlage 5). De benodigde HB-  
tabel is per openbaar vervoer zijn toegankelijk aan een openbaar vervoer  
netwerk (Fig. 4).



Fig. 4 Toedeling van HB-tabel na calibratie aan een wegennet.  
Waarneming is gearceerd.

### Intensiteiten openbaar vervoer

Het binaire calibratie proces heeft de berekende openbaar vervoerstromen over de gehele linie verbeterd: ze passen alle beter aan bij de waargenomen intensiteiten (tabel 3, bijlage 5). De berekende HB-tabellen per openbaar vervoer zijn toegeedeeld aan een openbaar vervoer netwerk (fig. 4).

### Frequentieverdelingen distributiefuncties

Binaire calibratie houdt in dat het model (en het resultaat) zo goed mogelijk in overeenstemming is met de waarnemingen. Een verdere verbetering t.a.v. aanpassing aan intensiteiten houdt in dat elders minder goede aanpassingen kunnen ontstaan.

Onderzoek naar residuen in afstandsverdelingen en frequentieverdelingen is daarom zeer gewenst. Zo bleek b.v. een halvering van het gewicht van afstandsverdeling te leiden tot een niet logische verdeling van het vervoer over de vervoerwijzen op lange afstanden. Het gebruik van de waargenomen frequentieverdeling van de verplaatsingen per weerstandsklasse blijkt dus van wezenlijk belang bij de toepassing van binaire calibratie.

De uiteindelijke resultaten t.a.v. frequentieverdelingen zijn opgenomen in tabel 2. De verschillen tussen waargenomen en berekende frequentieverdelingen zijn kleiner geworden voor alle vervoerwijzen. Spectaculair is de betere aanpassing van het openbaar vervoer.

Een en ander gaat gepaard met verschuivingen van de distributiefuncties. In fig. 5 is een verschuiving van de functies weergegeven die karakteristiek is voor alle functies. De functie voor de auto schuift naar rechts en die van het openbaar vervoer naar links.

Fig. 5 Voorbeeld verschuiving distributiefuncties voor auto (streeplijn) en openbaar vervoer (gestippelde lijn)

### Aankomsten en vertrekken

Zoals hierboven is beschreven zijn de berekende vervoerstromen voor aankomsten en vertrekken, de HB-tabellen, berekend met behulp van de berekende vervoerstromen, gebruikt. De berekende vervoerstromen zijn toegeedeeld aan een openbaar vervoer netwerk (de residuen) zijn dus verwerkt. Het verschil tussen de berekende vervoerstromen en de waargenomen vervoerstromen (bijlage 3) is zeer klein. Het verschil tussen de berekende vervoerstromen en de waargenomen vervoerstromen is zeer klein.

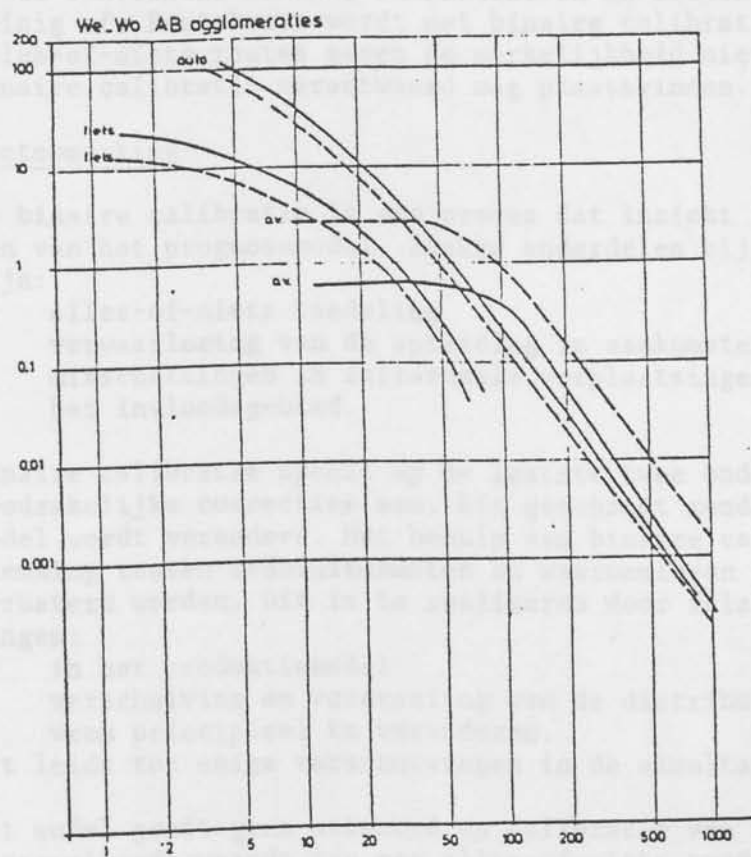


Fig. 5 Voorbeeld verandering distributiefuncties per vervoerwijze voor (streeplijn) en na (getrokken) binaire calibratie.

#### Aankomsten en vertrekken

Zoals hierboven is beschreven zijn in plaats van de waargenomen aankomsten en vertrekken, de met het prognosemodel berekende aankomsten en vertrekken gebruikt. De verschillen tussen berekende en waargenomen (de residuen) zijn dus verwaarloosd. Deze spreiding bedraagt in het algemeen 10 tot 20%. Als gevolg van binaire calibratie ontstaat een verschil (bijlage 3). Binnen het studiegebied blijft de spreiding binnen genoemde grenzen.



Kleine afwijkingen in de aankomsten en vertrekken blijken de betere aanpassingen op cordons in regionale studies te kunnen bewerkstelligen.

#### Routekeuze

De HB-tabellen voor en na de binaire calibratie zijn toegedeeld aan eenzelfde autonetwerk (resp. fig. 1 en fig. 6). De afwijkingen die in deze figuren voorkomen zijn voor een belangrijk deel terug te voeren op de routekeuze want de intensiteiten en uitkomsten wijken op cordons weinig af. Routekeuze wordt met binaire calibratie niet gecorrigeerd. Alles-of-niets routes geven de werkelijkheid niet zodanig weer dat binaire calibratie verantwoord mag plaatsvinden.

5.

#### Slotopmerking

De binaire calibratie is een proces dat inzicht geeft in het functioneren van het prognosemodel. Zwakke onderdelen bij regionale studies zijn:

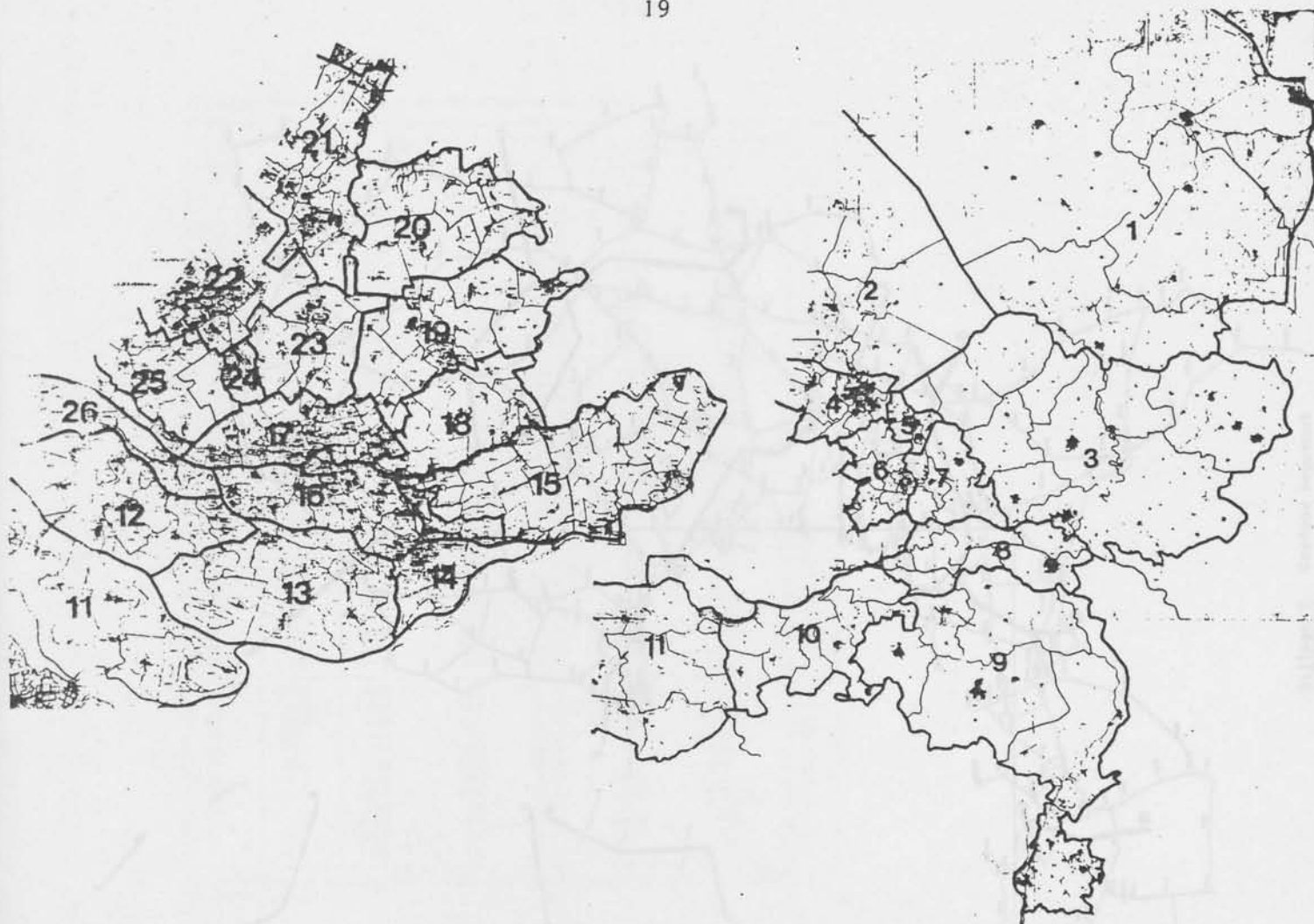
- alles-of-niets toedeling
- verwaarlozing van de spreiding in aankomsten en vertrekken
- misschattingen in intrazonale verplaatsingen bij grote zones in het invloedsgebied.

Binaire calibratie speelt op de laatste twee onderdelen in en brengt noodzakelijke correcties aan. Dit geschiedt zonder dat de vorm van het model wordt veranderd. Met behulp van binaire calibratie kan overeenstemming tussen modeluitkomsten en waarnemingen in belangrijke mate verbeterd worden. Dit is te realiseren door relatief geringe veranderingen:

- in het produktiemodel
- verschuiving en verdraaiing van de distributiefuncties zonder de vorm principieel te veranderen.

Dit leidt tot enige verschuivingen in de simultane distributiefuncties.

Het model geeft geen antwoord op calibratie van het routekeuzemodel. De voorspellende waarde van een alles-of-niets toedeling die hier moest worden toegepast wordt onvoldoende geacht om een binaire calibratie te rechtvaardigen. In deze richting dient verder onderzoek te worden verricht.

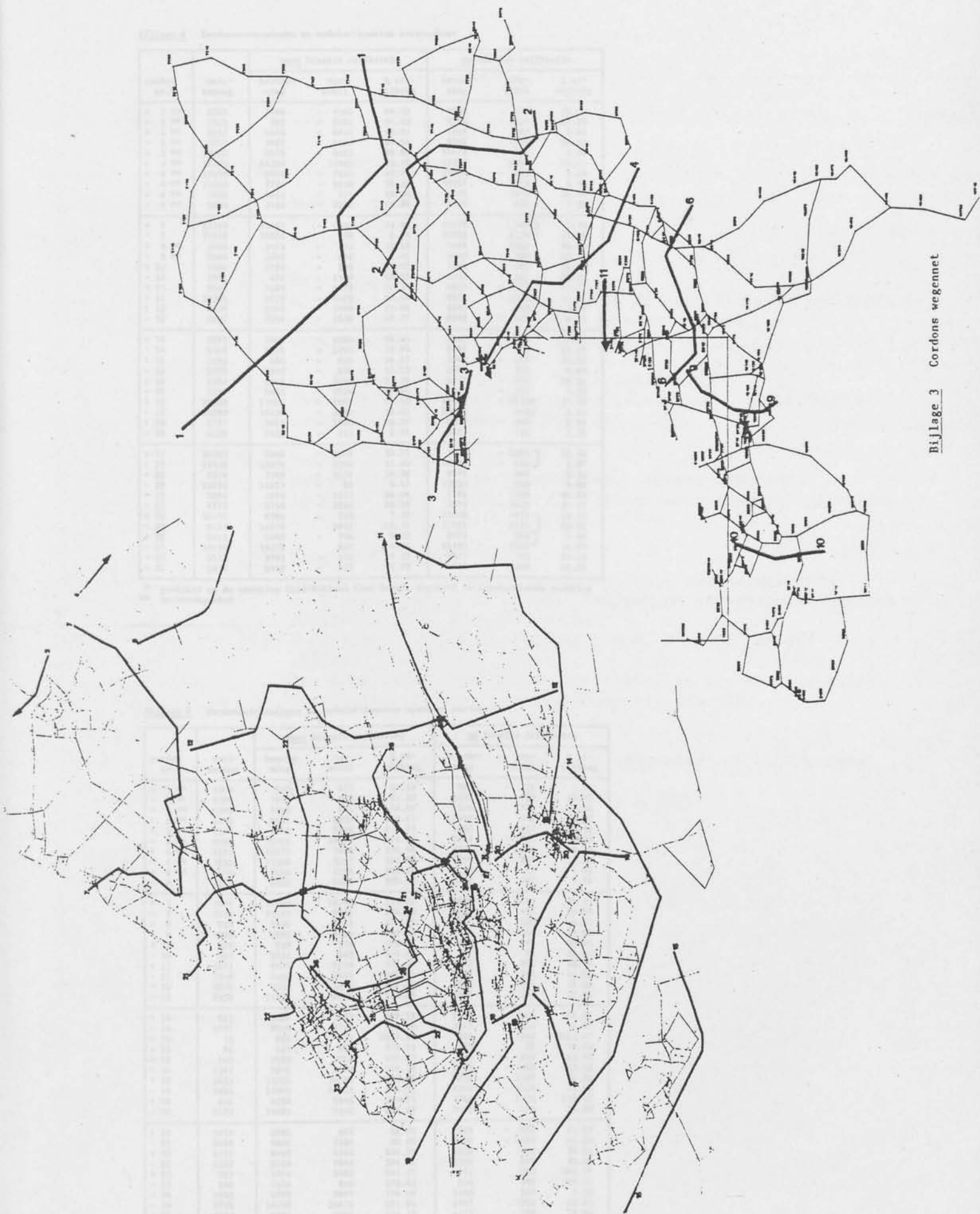


Bijlage 1 Indeling in gebiedsgroepen

Bijlage 2 Verandering aankomsten en vertrekken na binsaire calibratie

zone groep I nr. **	aankomsten AB*				aankomsten NAB*				vertrekken AB en NAB*			
	waar- neming***	bereke- ning	ver- schil	% af- wijking	waar- neming***	bereke- ning	ver- schil	% af- wijking	waar- neming***	bereke- ning	ver- schil	% af- wijking
1	5110	22656	17547	343.41	3000	6905	3905	130.14	4733	34623	29890	631.50
2	18817	29062	10245	54.45	9038	11742	2705	29.03	31326	35471	4145	13.23
3	21287	24312	3025	14.21	10711	11943	1232	11.51	21037	25227	4191	19.92
4	34914	38367	3453	9.89	29720	30496	776	2.61	72964	77724	4759	6.52
5	7292	7765	473	6.49	4000	4172	172	4.31	11193	11651	458	4.10
6	7936	8154	217	2.74	4693	5024	331	7.05	12812	13478	666	5.19
7	82630	79948	- 2682	3.25	72822	75233	2411	3.31	193508	168957	- 24551	12.69
8	27624	13943	- 13682	49.53	20461	17705	- 2756	13.47	19978	24263	4285	21.45
9	6249	7537	1288	20.60	5337	5381	44	0.83	8316	12414	4098	49.28
10	25892	24585	- 1307	5.05	11864	11499	- 365	3.08	29920	29636	- 284	0.95
11	21217	15119	- 6098	28.74	10979	7336	- 3642	33.18	25429	21916	- 3513	13.82
12	34231	34841	610	1.78	36889	36940	51	0.14	67489	69062	1573	2.33
13	81044	81706	662	0.82	80453	80074	- 379	0.47	182889	178392	- 4497	2.46
14	11612	11245	- 367	3.16	10790	10777	- 13	0.12	16786	15697	- 1090	6.49
15	10275	10257	- 18	0.17	19093	19607	515	2.70	22619	21772	- 848	3.75
16	17636	17816	180	1.02	4866	4888	22	0.46	23138	19538	- 3600	15.56
17	4059	4099	40	0.99	21456	20957	- 500	2.33	19141	20805	1664	8.70
18	17686	17989	302	1.71	75082	72225	- 2857	3.81	33704	32194	- 1510	4.48
19	66293	64428	- 1865	2.81	50367	50426	59	0.12	6848	6543	- 305	4.45
20	44560	43730	- 830	1.86	10052	10159	107	1.07	35484	41994	6510	18.35
21	9117	9311	194	2.13	12583	12972	389	3.09	156878	154705	- 2173	1.39
22	11733	11918	185	1.58	13290	13564	275	2.07	85739	84280	- 1459	1.70
23	10509	9991	- 518	4.93	10756	10865	109	1.02	10531	11366	834	7.92
24	11537	12791	1254	10.87	(2681)	2615	- 66	2.46	14403	13811	- 592	4.11
25	2512	2463	- 49	1.95	8202	8350	148	1.80	9635	8690	- 945	9.81
26	5982	6326	344	5.75	5811	6069	257	4.43	26247	24073	- 2174	8.28

\* alleen intrazonale verplaatsingen in de zones 1 t/m 11  
 \*\* zie figuur 3 voor de bij de binsaire calibratie gebruikte zone-indeling  
 \*\*\* is gelijk aan de berekening voor de binsaire calibratie



Bijlage 3 Cordons wegennet

Bijlage 4 Cordonwaarnemingen en modeluitkomsten autoverkeer

cordon nr.*	waarneming	voor binaire calibratie			na binaire calibratie		
		berekening	verschil	% afwijking	berekening	verschil	% afwijking
+ 1 **	5352	1046	- 4306	80.45	4373	- 980	18.30
- 1 **	5352	298	- 5054	94.43	2796	- 2556	47.76
+ 2 **	8257	1418	- 6839	82.83	8954	697	8.44
- 2 **	8257	2680	- 5576	67.54	6561	- 1695	20.53
+ 3 **	13630	9568	- 4062	29.80	14412	782	5.74
- 3 **	14389	26354	11965	83.15	21039	6650	46.21
+ 4 **	17409	9448	- 7961	45.73	16410	- 999	5.74
- 4 **	17409	7771	- 9638	55.36	15957	- 1452	8.34
+ 6 **	5404	4413	- 991	18.34	6420	1016	18.80
- 6 **	5404	3141	- 2263	41.88	5624	220	4.07
+ 7	15318	13487	- 1831	11.95	15578	260	1.70
- 7	17916	18016	100	0.56	20055	2139	11.94
+ 9 **	3844	3453	- 391	10.18	4984	1140	29.64
- 9 **	3844	3558	- 286	7.45	4643	799	20.77
+ 10	1586	1237	- 349	22.02	1395	- 191	12.07
- 10	1586	478	- 1108	69.87	1205	- 381	24.03
+ 11	8642	3169	- 5473	63.33	4863	- 3779	43.73
- 11	10391	5919	- 4472	43.04	6815	- 3576	34.42
+ 12	8436	6508	- 1928	22.86	8281	- 155	1.84
- 12	9391	7554	- 1838	19.57	8948	- 433	4.72
+ 14	3391	1803	- 1589	46.84	2807	- 585	17.24
- 14	6468	5178	- 1290	19.94	5747	- 721	11.15
+ 15	1295	666	- 629	48.57	1063	- 232	17.93
- 15	2373	2100	- 274	11.53	2526	153	6.43
+ 16	5352	3653	- 1700	31.75	4377	- 975	18.23
- 16	7717	5863	- 1854	24.02	7319	- 397	5.15
+ 19	15533	11086	- 4447	28.63	13400	- 2133	13.73
- 19	22299	19620	- 2679	12.01	23245	946	4.24
+ 20	5757	3951	- 1806	31.37	5417	- 340	5.91
- 20	8129	7418	- 711	8.75	8242	113	1.39
+ 21	10093	6505	- 3589	35.56	7824	- 2269	22.48
- 21	11436	10079	- 1356	11.86	10993	- 442	3.87
+ 22	9328	7799	- 1529	16.39	9675	347	3.72
- 22	11471	11417	- 54	0.47	12031	560	4.88
+ 23	3351	2074	- 1277	38.09	2182	- 1169	34.88
- 23	4773	2740	- 2032	42.58	3303	- 1470	30.80
+ 24	10112	9395	- 718	7.10	12088	1975	19.53
- 24	9634	11576	1942	20.15	11855	2221	23.05
+ 25	8416	7640	- 776	9.22	8979	563	6.69
- 25	13510	14179	669	4.95	15785	2274	16.83
+ 27	3515	3781	- 114	2.17	4277	762	21.68
- 27	5274	5160	- 477	47.70	6623	1349	25.59

\* positief in de richting Zuid-Holland (Den Haag), negatief in tegengestelde richting  
 \*\* invloedsgebied

Bijlage 5 Cordonwaarnemingen en modeluitkomsten openbaar vervoer

cordon nr.*	waarneming	voor binaire calibratie			na binaire calibratie		
		berekening	verschil	% afwijking	berekening	verschil	% afwijking
+ 1 **	1000	523	- 477	47.70	983	- 17	1.71
- 1 **	1000	1973	973	97.33	1158	158	15.76
+ 2 **	1309	1950	641	48.99	1820	511	39.06
- 2 **	1706	5641	3935	230.67	2489	783	45.88
+ 3 **	1364	4240	2876	210.83	1626	262	19.19
- 3 **	4986	15665	10679	214.17	2746	- 2240	44.92
+ 4 **	3151	10577	7426	235.66	3755	604	19.16
- 4 **	3825	12358	8533	223.08	4769	944	24.67
+ 6 **	1260	3556	2296	182.19	1198	- 62	4.91
- 6	2299	8920	6621	288.00	2460	161	7.01
+ 7	7004	17769	10765	153.70	4818	- 2186	31.21
- 7	3510	13501	9991	284.64	3033	- 477	13.58
+ 9	924	3435	2511	271.79	1061	137	14.87
- 9	1083	4597	3514	324.47	1224	141	13.06
+ 10	250	820	570	228.18	423	173	69.35
- 10	350	1213	863	246.66	259	- 91	25.94
+ 11	1871	9905	8034	429.40	2677	806	43.10
- 11	1549	4180	2631	169.85	1308	- 241	15.55
+ 12	2979	9557	6578	220.83	3525	546	18.33
- 12	2459	11079	8620	350.56	2851	392	15.94
+ 14	823	3228	2405	292.21	1364	541	65.71
- 14	1785	8959	7174	401.90	2047	262	14.67
+ 15	13	899	886	6816.61	215	202	1551.47
- 15	98	567	469	478.59	173	75	76.11
+ 16	503	2553	2050	407.57	972	469	93.18
- 16	1367	2996	1629	119.14	1185	- 182	13.33
+ 19	2692	13283	10591	393.42	5031	2339	86.89
- 19	9834	24047	14213	144.53	8158	- 1676	17.04
+ 20	646	4294	3648	564.71	1798	1152	178.39
- 20	3521	10683	7162	203.41	3042	- 479	13.60
+ 21	3010	3701	691	22.95	1455	- 1555	51.67
- 21	5688	6826	1138	20.00	2190	- 3498	61.50
+ 22	2331	8493	6162	264.33	3138	807	34.61
- 22	2283	9924	7641	334.67	2959	676	29.61
+ 23	191	1874	1683	881.25	731	540	282.79
- 23	248	1174	926	373.42	544	296	119.41
+ 24	3802	8899	5097	134.06	4150	348	9.16
- 24	3715	14190	10475	281.96	5307	1592	42.85
+ 25	3793	9853	6060	159.77	4273	480	12.66
- 25	7240	16366	9126	126.05	6163	- 1077	14.88
+ 27	1877	5998	4121	219.54	2036	159	8.48
- 27	1085	5089	4004	369.05	1740	655	60.33

\* positief in de richting Zuid-Holland (Den Haag)  
 \*\* invloedsgebied



Literatuurverwijzingen

- [1] Hamerslag, R. en A.W. Dersjant (1977)  
Een multiproportionele schattingsmethode.  
Verkeerskunde nr. 1, pag. 35 - 39.
- [2] Hamerslag, R. en M.C. Huisman (1978)  
Binaire calibratie. Schatting van de coëfficiënten met gebruik-  
making van verschillende soorten waarnemingen.  
Verkeerskunde nr. 2, pag. 166 - 168.
- [3] Van Zuylen, H.J. and L.G. Willumsen (1980)  
The most likely trip matrix estimated from traffic counts.  
Transportation Research, pag. 281 - 293.
- [4] Smit, J.G. (1980)  
Het schatten van een herkomst en bestemmingsmatrix.  
In P.H.L. Bovy et al. (red). Colloquium vervoersplanologisch  
speurwerk 1980, Delft, pag. 647 - 674.
- [5] Roos, J.P. (1980)  
Het opstellen van HB matrices op basis van wegenquêtes.  
In P.H.L. Bovy et al. (red). Colloquium vervoersplanologisch  
speurwerk 1980, pag. 699 - 706.
- [6] Hamerslag, R., L.C.H. Fortuijn, A.W. Dersjant en J.P. Roos  
(1981).  
Een toepassing van binaire calibratie in regionale studies.  
Colloquium vervoersplanologisch speurwerk, 1981.
- [7] Willumsen, L.G. (1978).  
OD-matrices from networkdata: A comparison of alternative  
methods for their estimation.  
PTRC. Summer normal meeting 1978, L 16.

PUBLICATIES EN RAPPORTEN VAN DE EENHEID MODELKUNDE 1981

- EVM/02/81.01 ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN VAN  
PREFERENTIELE TOERITDOSERING OP  
AUTOSNELWEGEN  
L.H. Immers  
Delft, februari 1981
- EVM/02/81.02 RIJKSWEGENPLANNING: met bloedend hart  
naar een veilige, vlotte en efficiënte  
verkeersafwikkeling  
L.H. Immers  
Delft, maart 1981
- EVM/01/81.03 OVERZICHT COMPUTER-PROGRAMMA'S EENHEID  
VERKEERSKUNDIGE MODELLEN  
Delft, juni 1981
- EVM/02/81.04 ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN  
BRANDSTOFPRIJZEN OP DE OMVANG VAN HET  
PERSONENVERVOER  
een voorstel tot onderzoek  
R. Hamerslag,  
L.H. Immers,  
H.J. Roodenburg  
Delft, september 1981
- EVM/01/82.07 OPTIMALISATIE VAN LIGGINGEN OPSTRAAL  
VERVOERSYSTEMEN  
L.H. Immers,  
P.R. Barkey,  
R. Hamerslag  
Delft, augustus 1982
- EVM/02/82.07 OPTIMALISATIE IN HET OPSTRAAL  
STADVERVOER  
Het ontwikkelen van lijnnetwerken voor  
het stedelijk openbaar vervoer met behulp  
van optimalisatietechnieken  
P.R. Barkey  
Delft, juli 1982

PUBLICATIES EN RAPPORTEN VAN DE EENHEID MODELKUNDE 1982

- EVM/02/82.01           ENERGIE EN VERVOEROMVANG  
een verkeerskundige mikrobenedering  
L.H. Immers  
Delft, mei 1982
- EVM/02/82.02           ENIGE VOORBEELDEN VAN TOEPASSING VAN  
OPTIMALISATIE MODELLEN IN DE PRAKTIJK  
L.H. Immers  
Delft, mei 1982
- EVM/02/82.03           INLEIDING MATHEMATISCHE MODELLEN IN DE  
VERKEERSKUNDE  
R. Hamerslag  
Delft, mei 1982
- EVM/02/82.04           THEORIE PROGNOSEMODELLEN  
R. Hamerslag  
Delft, mei 1982
- EVM/02/82.05           INLEIDING OPTIMALISATIE EN  
BESLISSINGSMODELLEN  
R. Hamerslag  
Delft, mei 1982
- EVM/02/82.06           SCHATTEN VAN DISTRIBUTIEFUNCTIES  
BASISMATRICES I en II  
R. Hamerslag  
Delft, mei 1982
- EVM/01/82.07           OPTIMALISATIE VAN LIJNGEBONDEN OPENBAAR  
VERVOERSYSTEMEN  
L.H. Immers  
P.R. Barkey  
R. Hamerslag  
Delft, augustus 1982
- EVM/02/82.07           OPTIMALISATIE IN HET OPENBAAR  
STADSVVERVOER  
Het ontwikkelen van lijnenstelsels voor  
het stedelijk openbaar vervoer met behulp  
van optimalisatietechnieken  
P.R. Barkey  
Delft, juni 1982